



**UNIVERSIDAD NACIONAL
PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA E
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**



ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

TESIS

**“Instalación de una planta de transformación de agua
residual doméstica en agua potable”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERA QUIMICA**

PRESENTADO POR:

Bachiller: Rosa Angélica Porras Salazar

LAMBAYEQUE – PERÚ

2019



**UNIVERSIDAD NACIONAL
PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA E
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**



ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

TESIS

**“Instalación de una planta de transformación de agua
residual doméstica en agua potable”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERA QUÍMICA**

PRESENTADO POR:

Bachiller: Rosa Angélica Porras Salazar

Aprobado por:

Ing. Dr. Wilton Oswaldo Rojas Montoya
PRESIDENTE

Ing. MSc. José Enrique Hernández Ore
SECRETARIO

Ing. MSc. Segundo Alberto Vásquez Llanos
VOCAL

Ing. MSc. Ada Patricia Barturen Quispe
ASESOR

LAMBAYEQUE - PERÚ

DEDICATORIA

A Dios por darme la vida y hacer realidad mi sueño de cumplir mi objetivo profesional.

Con mucho cariño para mi madre SARA ANGÉLICA SALAZAR INFANTE y mi padre RENEÉ PORRAS LLONTOP, quienes con su esfuerzo y ejemplo me motivaron a seguir creciendo, en mi talento personal y profesional.

A mi hermana PATRICIA DEL PILAR y mi hermano JOSÉ LUIS, quienes me motivaron a cumplir esta meta y una nueva etapa de mi vida.

Dedico a todos que creyeron en mí, a quienes creen y también a aquellos que, de ahora en adelante, les va a tocar empezar a creer.

AGRADECIMIENTO

Mi sincero agradecimiento a los miembros del jurado evaluador de la Escuela Profesional de Ingeniería Química, a mis colegas de carrera y académicos por todo su apoyo y afecto, sin el cual, hubiese sido difícil concretar esta misión.

Mi madre SARA ANGÉLICA SALAZAR INFANTE y a mi padre RENEÉ PORRAS LLONTOP quienes me brindaron incondicionalmente su apoyo, para poder realizar esta exitosa investigación y así concretar este sueño.

Y a Dios nuestro Padre celestial, por brindarme las fuerzas y orientarme en cada paso en esta carrera que he emprendido con fortaleza, rectitud, paciencia, sabiduría y amor.

INDICE GENERAL

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
CAPITULO I: ESTUDIO DE MERCADO.....	3
1.1.DEFINICIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO: AGUA POTABLE.....	6
1.1.1. USUARIOS DEL AGUA POTABLE.....	6
1.2.MATERIA PRIMA: AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA.....	10
1.2.1. RAZONES PARA LA REUTILIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS	11
1.2.2. DISPONIBILIDAD DE AGUAS RESIDUALES	12
1.2.3. CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES	14
1.3.EL ANÁLISIS DEL MERCADO.....	15
1.3.1. MERCADO POTENCIAL.....	15
1.3.2. DEMANDA PROYECTADA.....	26
1.3.3. DEMANDA PROYECTADA POR RESERVORIOS DE ALMACENAMIENTO	16
1.3.4. COMERCIALIZACIÓN	17
1.3.5. PRECIOS DE AGUA POTABLE.....	20
1.4.CAPACIDAD DE PLANTA	20
1.5.CONCLUSIONES DEL ESTUDIO DE MERCADO	22
CAPITULO II: INGENIERÍA DEL PROYECTO	23
2.1.EL EFLUENTE DE LAS PLANTAS CONVENCIONALES DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	25
2.2.TECNOLOGIAS REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS	28
2.3.SELECCIÓN DE PROCESO	37
2.3.1. MÉTODO DE CRITERIO TÉCNICO.....	37
2.4.DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL PROYECTO	41
2.5.DIAGRAMA DE FLUJO	45
2.6.DIAGRAMA DE BLOQUES.....	47
2.7.BALANCE DE MASA Y DE ENERGÍA	49
2.7.1. CONSUMO DE ENERGÍA EN EL SISTEMA MBR.....	49
CAPITULO III: LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA.....	51

CAPITULO IV: DISEÑO Y SELECCIÓN DE EQUIPOS DE PROCESO	54
4.1.EQUIPOS PRINCIPALES DEL PROCESO.....	54
4.1.1. TAMIZ DE ESCALERA PARA FINOS	54
4.1.2. SISTEMA MBR	55
4.1.2.1.TANQUES ANÓXICOS DEL SISTEMA MBR	56
4.1.2.2.TANQUES AERÓBICOS DEL SISTEMA MBR	56
4.1.2.3.REACTORES BIOLÓGICOS DE MEMBRANA SUMERGIDA	57
4.1.3. CÁMARA UV	59
4.1.4. SISTEMA DE DOSIFICACIÓN DE ANTI-INCRUSTANTE	59
4.1.5. SISTEMA DE DOSIFICACIÓN DE METAFISULFITO.....	60
4.1.6. OSMOSIS INVERSA	60
4.1.7. SISTEMA DE DOSIFICACIÓN DE HIPOCLORITO DE SODIO	60
4.2.DISTRIBUCIÓN DE PLANTA Y ESTRUCTURA	61
4.2.1. DISTRIBUCIÓN DE LA TUBERÍA.....	61
4.2.2. ESTRUCTURAS Y EDIFICIOS	62
4.3.INSTALACIONES SANITARIAS	64
4.3.1. DISTRIBUCIÓN DE LA TUBERÍA.....	64
4.3.2. DIAMÉTRO, ESPESOR Y MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN.....	64
4.3.3. ACCESORIOS Y VÁLVULAS.....	65
CAPITULO V: CONSIDERACIONES AMBIENTALES	66
5.1.PARA LODOS DEL SISTEMA MBR	66
5.2.PARA LODOS DEL EQUIPO OSMOSIS INVERSA.....	66
CAPITULO VI: EVALUACIÓN ECONÓMICA	68
6.1.VALORACIÓN DE INVERSIÓN TOTAL	68
6.1.1. CAPITAL FIJO TOTAL	69
COSTOS DIRECTOS TOTALES.....	70
COSTOS INDIRECTOS TOTALES	73
6.1.2. CAPITAL DE PUESTA EN MARCHA O CAPITAL DE TRABAJO	75
6.2.VALORACIÓN DEL COSTO DE PRODUCCIÓN	77
6.2.1. COSTO DE MANUFACTURA	77
A. COSTO DIRECTO DE MANUFACTURA.....	77
B. COSTO INDIRECTO DE FABRICACIÓN	79
C. COSTOS FIJOS DE FABRICACIÓN	80
D. GASTOS GENERALES (VAI).....	81
COSTO TOTAL DE FABRICACIÓN.....	82

6.2.2. COSTO UNITARIO.....	83
6.3.BALANCE ECONÓMICO Y RENTABILIDAD	84
6.3.1. RETORNO SOBRE LA INVERSIÓN.....	84
A. TIEMPO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN	85
B. PUNTO DE EQUILIBRIO.....	85
CAPITULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	87
7.1.CONCLUSIONES	87
7.2.RECOMENDACIONES	88
BIBLIOGRAFÍA	89
APENDICE	93

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1. Límites máximos de parámetros microbiológicos y parasitológicos	7
Tabla 1.2. Límites máximos de parámetros de calidad organoléptica.....	8
Tabla 1.3. Límites máximos de parámetros químicos inorgánicos y orgánicos.....	9
Tabla 1.4. Propiedades fisicoquímicas de aguas residuales de la ciudad de Chiclayo....	14
Tabla 1.5. Distribución de Agua Potable por sectores	16
Tabla 1.6. Estructura tarifaria vigente	21
Tabla 1.7. Estructura tarifaria propuesta para todas las localidades en el ámbito de EPSEL S.A.	22
Tabla 2.1. Calidad del agua obtenida con el proceso NEWater	30
Tabla 2.2. Evaluación de los procesos de transformación de agua residual doméstica en agua potable.....	40
Tabla 2.3. Agua después del tratamiento de biorreactor con membrana sumergida.....	44
Tabla 2.4. Parámetros de diseño utilizados para el balance de masa	49
Tabla 4.1. Parámetros del Tamiz de escalera para finos	54
Tabla 4.2. Parámetros del Sistema MBR.....	55
Tabla 4.3. Parámetros para Tanques Anóxicos	56
Tabla 4.4. Parámetros para Tanques Aeróbicos	56
Tabla 4.5. Parámetros para Reactores Biológicos de Membrana Sumergida.....	57
Tabla 4.6. Parámetros del Equipo Ultravioleta.....	59
Tabla 4.7. Parámetros del Equipo Osmosis Inversa	60
Tabla 6.1. Costo de los Equipos principales.....	70
Tabla 6.2. Costo total de tubería y accesorios	71
Tabla 6.3. Costos Directos.....	73
Tabla 6.4. Costos Indirectos	74
Tabla 6.5. Capital de trabajo.....	75
Tabla 6.6. Plan Global de Inversiones	76
Tabla 6.7. Costo Directos de Manufactura	79
Tabla 6.8. Costo Indirectos de Manufactura.....	80
Tabla 6.9. Costo Fijos de Fabricación	81
Tabla 6.10. Costo de Gastos Generales	82

Tabla 6.11. Costo Total de Fabricación.....	82
Tabla 6.12. Costo de Manufactura y Costo Unitario.....	83
Tabla 6.13. Valores para calcular el punto de equilibrio.....	85
Tabla 6.14. Estado de Pérdida y Ganancia	86
Tabla 6.15. Análisis Económico.....	86

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1. Esquema del sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Chiclayo.....	13
Figura 1.2. Tanques elevados que abastecen agua a Chiclayo y Pimentel.....	19
Figura 1.3. Costo operativo por volumen facturado y tarifa media EPSEL.....	21
Figura 2.1. Representación esquemática de un proceso de tratamiento de aguas residuales convencional.....	27
Figura 2.2. Etapas necesarias para obtención de agua potable, según proceso NEWater	29
Figura 2.3. Diagrama de Bloques del tratamiento primario y secundario de las aguas residuales en el Proceso NEWater.....	31
Figura 2.4. Reactor MBR, disposición interna	33
Figura 2.5. Esquema de un biorreactor de una membrana de configuración interna	34
Figura 2.6. Esquema de un funcionamiento de un equipo UV	35
Figura 2.7. Esquema de funcionamiento de un equipo de Osmosis Inversa	36
Figura 2.8. Modelo de arrollamiento en espiral.....	37
Figura 2.9. Vista en 3D del biorreactor de membranas sumergidas.....	42
Figura 2.10. Fase de filtración y fase de lavado de la tecnología MBR.....	43
Figura 2.11. Diagrama de Flujo del Proceso de Tratamiento de Aguas Residuales para obtención de Agua Potable	46
Figura 2.12. Diagrama Bloque del Proceso NEWater Modificado	48
Figura 3.1. Localización de la Planta	53
Figura 4.1. Tamiz de escalera para finos	55
Figura 4.2. Reactores biológicos de membrana sumergida	58
Figura 4.3. Cámara UV	59
Figura 4.4. Esquema de Dosificación.....	60
Figura 4.5. Plano Maestro	63

RESUMEN

El propósito de este proyecto es establecer una solución frente a la futura escasez de agua y a la vez asegurar la calidad del agua de consumo humano; la operación del Sistema de Purificación del agua es transformar el agua residual doméstica en agua potable, el cual cumple con las normas y características de salud (Reglamento de la Calidad de Agua para Consumo DS N° 031-2010-S.A.). El proceso inicia en la rejilla de entrada de poro de 2-3 mm, después ingresa al sistema MBR; el cual es un biorreactor de membranas sumergidas, los sólidos obtenidos en el agua tratada permanecen dentro del equipo reactor circulando en la corriente de recirculación permanente; luego se desinfecta con un equipo UV y finalmente ingresa al sistema de osmosis inversa.

Los resultados de los análisis después del tratamiento del sistema MBR se permite garantizar la reutilización de las aguas residuales domésticas de la provincia d Chiclayo. La planta Potabilizadora se ubica en la carretera a San José, a 10 km del Centro Poblado Ciudad de Dios, con una capacidad de producción de 100 l/s.

Este proyecto se estableció una inversión de 22'0100,095 dólares americanos, considerando un precio de venta 3.8 dólares por m³. El punto de equilibrio de la planta es 34.12% de la capacidad total de la planta, el periodo de recuperación del dinero es 3.2 años después de pagar los impuestos.

ABSTRACT

The purpose of this project is to establish a solution to the future water shortage and at the same time ensure the quality of water for human consumption; the operation of the Water Purification System is to transform domestic wastewater into a drinking water with which it complies with health standards and characteristics (Regulation of the Water Quality for Consumption DS N°031-2010-S.A.). The process starts at the 2-3 mm pore inlet grid, then enters the MBR system; which is a biorreactor of submerged membranas, the solids contained in the water to be treated remain inside the reactor circulating in the permanent recirculation stream; it is then disinfected with a UV device and finally enters the reverse osmosis system.

The results of the analyzes after treatment of the MBR system allow the reuse of domestic wastewater in the province of Chiclayo. The Water Treatment Plant is located on the road to San José, 10 km from the Ciudad de Dios Town Center, with a production capacity of 100 l/s.

This Project established a total investment of US \$ 22,010,095, considering a sale price of US \$ 3.8 per m³. The equilibrium point of the plant is 34.12% of the total capacity of the plant the recovery period of the money is in 3.12 years after paying taxes.

INTRODUCCIÓN

Una de las cuestiones clave en la gestión de los recursos hídricos es la reutilización (indirecta) de las aguas residuales para el suministro de agua potable o para fines industriales o agrícolas debido a la escasez de aguas cristalinas. Es una perspectiva global, la disponibilidad y distribución de recursos de agua dulce ya es limitada y el aumento de la población, la industrialización, el uso no sostenible y otros factores similares han llevado al escenario actual de estrés hídrico y escasez.

Además, al mismo tiempo, el calentamiento global, las distribuciones rurales y urbanas irregulares de la población y la economía están aumentando y complejizando el problema. En general, la demanda de agua dulce está aumentando, poniendo énfasis en los recursos disponibles y la calidad del agua. Los expertos advierten que, para 2050, se espera que la población mundial aumente en un 33 por ciento y la mitad de la población mundial sufrirá escasez de agua para 2025 (OMS/UNICEF 2016). Según la OMS/UNICEF, casi 663 millones de personas no tienen acceso al agua dulce y más de 1.800 millones de personas viven usando aguas que no potables.

Para hacer frente a esta futura escasez de agua potable y hacer que el acceso al agua dulce sea una realidad para todos, existe una gran necesidad de comprender la importancia de la conservación del agua: la recuperación y la reutilización de las aguas residuales es el enfoque central. La gestión de los recursos hídricos disponibles y el uso de fuentes de agua alternativas, incluidas de las aguas residuales, son cruciales para garantizar el suministro de agua dulce (UNESCO, 2016).

Las fuentes de agua alternativas son las fuentes sostenibles de agua utilizadas para satisfacer la demanda de agua dulce. En las regiones de extrema escasez de agua, la creciente presión sobre las fuentes naturales de agua dulce ha llevado a las economías hacia fuentes de agua no convencionales tales como: la recuperación de aguas residuales industriales y municipales para diferentes usos industriales, agrícolas y domésticos, y también el uso doméstico de agua dulce producido a partir de agua salobre o salina por desalinización.

Desde 1980, la recuperación y reutilización de las residuales municipales se ha convertido en una de las principales fuentes de agua alternativas como resultado de los estrictos límites de descarga de efluentes y la grave escasez actual de recursos hídricos naturales. Recientemente, la reutilización de aguas residuales municipales se ha convertido en una alternativa atractiva y se utiliza ampliamente para el riego agrícola, la recarga de aguas subterráneas, diferentes fines recreativas industriales y urbanos (FAO, 2013).

Desde el año 2016 se comienza a tener noticias de la transformación de las aguas residuales domésticas en agua potable, tanto directamente como indirectamente. Un ejemplo de uso indirecto, es la planta NEWater en Singapur para el tratamiento de aguas servidas produciendo un agua de alta calidad que puede ser usado directamente en la industria o mezclarlo con aguas de lluvias para tratamiento posterior y usarlo como agua potable.

Un ejemplo de uso directo, es la Planta de Agua Ultrapura instalada en Antofagasta (Chile) que a partir de aguas servidas obtiene un agua de alta pureza utilizando osmosis inversa, la cual previa remineralización se puede usar como agua potable (Miquel, 2016).

A la fecha se tiene noticias del uso directo de agua potable obtenido de aguas residuales domésticas en ciudades como Singapur, Australia y Namibia, y en estados tales California, Virginia y Nuevo México. En estos últimos lugares se asegura el agua potable obtenida cumple con los estándares de la U.S. Environmental Protection Agency (Cho, 2011).

Los expertos indican que, si una ciudad recicla toda su agua residual, podría reducir la necesidad de agua fresca en un 60%. El agua potable obtenida de las aguas residuales es más barata que el agua potable que se pueda obtener por osmosis inversa a partir de agua de mar (Woo, 2016). En la revista digital PRT's The World, indica que “Reciclar las aguas residuales en agua potable no es gran cosa. Lom han estado haciendo en Namibia durante 50 años” (Gross, 2016).

Siguiendo las recomendaciones de los especialistas que este tipo de planta se debe instalar en las ciudades costeras, las cuales en su mayoría eliminan las aguas residuales, tratadas o a veces sin tratar, hacia el mar. Por tal motivo se escogió la provincia de Chiclayo, Lambayeque, Perú.

CAPITULO I

ESTUDIO DE MERCADO

1.1. DEFINICIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO: AGUA POTABLE

Según el Artículo 5 del Reglamento de Calidad de Agua para Consumo Humano (DS N° 031-2010-S.A.), el agua potable o agua de consumo humano es el “agua apta para consumo humano y para todo uso doméstico habitual, incluida la higiene personal”.

En el Artículo 59 del mismo Reglamento se establece que agua para consumo humano “es toda agua inocua para la salud que cumple los requisitos de calidad establecidos en el presente Reglamento” (DIGESA, 2011).

En este Reglamento de la Calidad de Agua para Consumo Humano se establece los siguientes parámetros.

A. Artículo 60°.- Parámetros microbiológicos y otros organismos

Toda agua destinada para el consumo humano, como se indica en la Tabla 1.1. debe estar exenta de:

1. Bacterias coliformes totales, termotolerantes y *Escherichia coli*
2. Virus
3. Huevos larvas de helmintos, quistes y ooquistes de protozoarios patógenos
4. Organismos de la vida libre, como algas, protozoarios, copépodos rotíferos y nemátodos en todos sus estudios evolutivos
5. Para el caso de Bacterias Heterotróficas menos de 500 UF/ml a 35°

Tabla 1.1. Límites máximos permisibles de parámetros microbiológicos y parasitológicos

Parámetros	Unidad de Medida	Límite máximo permisible
1. Bacterias Coliformes Totales	UFC/100 ml a 35°C	0 (*)
2. E. coli	UFC/100 ml a 44,5°C	0 (*)
3. Bacterias Coliformes Termotolerantes o Fecales	UFC/100 ml a 44,5°C	0 (*)
4. Bacterias Heterotróficas	UFC/100 ml a 35°C	500
5. Huevos y larvas de Helmintos, quistes y ooquistes de protozoarios patógenos	N° org/L	0
6. Virus	UFC/ml	0
7. Organismos de vida libre, como algas, protozoarios, copépodos, rotíferos, nemátodos en todos sus estados evolutivos	N° org/L	0

Fuente: DIGESA, 2011

UFC = Unidad formadora de colonias

(*) En caso de analizar por la técnica del NMP por tubo múltiples = < 1,8/100 ml

B. Artículo 61°.- Parámetros de calidad organoléptica

El 90% de las muestras tomadas en la red de distribución en cada monitoreo establecido en el plan de control, correspondientes a los parámetros químicos que afectan la calidad estética y organoléptica del agua para consumo humano, no deben exceder las concentraciones o valores señalados en la Tabla 1.2. del incumplimiento y tomará medidas para cumplir con los valores con los valores establecidos en el Reglamento.

Tabla 1.2. Límites máximos permisibles de parámetros de calidad organoléptica

Parámetros	Unidad de Medida	Límite máximo permisible
1. Olor		Aceptable
2. Sabor		Aceptable
3. Color	UCV escala Pt/Co	15
4. Turbiedad	UNT	5
5. pH	Valor de pH	6.5 a 8.5
6. Conductividad (25°C)	µmho/cm	1 500
7. Sólidos totales disueltos	mg L ⁻¹	1 000
8. Cloruros	mg Cl ⁻ L ⁻¹	250
9. Sulfatos	mg SO ₄ L ⁻¹	250
10. Dureza total	mg CaCO ₃ L ⁻¹	500
11. Amoníaco	mg N L ⁻¹	1,5
12. Hierro	mg Fe L ⁻¹	0,3
13. Manganeso	mg Mn L ⁻¹	0,4
14. Aluminio	mg Al L ⁻¹	0,2
15. Cobre	mg Cu L ⁻¹	2,0
16. Zinc	mg Zn L ⁻¹	3,0
17. Sodio	mg Na L ⁻¹	200

Fuente: DIGESA, 2011

UCV: Unidad de color verdadero

UNT: Unidad nefelométrica de turbiedad

C. Artículo 62°.- Parámetros inorgánicos y orgánicos

Toda agua destinada para el consumo humano, no deberá exceder los límites máximos permisibles para los parámetros inorgánicos y orgánicos señalados en la Tabla 1.3.

Tabla 1.3. Límites máximos permisibles de parámetros químicos inorgánicos y orgánicos

Parámetros	Unidad de Medida	Límite máximo permisible
23. Monoloramina	mgL ⁻¹	3
24. Tricloroeteno	mgL ⁻¹	0,07
25. Tetracloruro de carbono	mgL ⁻¹	0,004
26. Ftalato de di (2-etilhexilo)	mgL ⁻¹	0,008
27. 1,2- Diclorobenceno	mgL ⁻¹	1
28. 1,4- Diclorobenceno	mgL ⁻¹	0,3
29. 1,1- Dicloroeteno	mgL ⁻¹	0,03
30. 1,2- Dicloroeteno	mgL ⁻¹	0,05
31. Diclorometano	mgL ⁻¹	0,02
32. Ácido edético (EDTA)	mgL ⁻¹	0,6
33. Etilbenceno	mgL ⁻¹	0,3
34. Hexaclorobutadieno	mgL ⁻¹	0,0006
35. Ácido Nitrilotriacético	mgL ⁻¹	0,2
36. Estireno	mgL ⁻¹	0,02
37. Tolueno	mgL ⁻¹	0,7
38. Xileno	mgL ⁻¹	0,5
39. Atrazina	mgL ⁻¹	0,002
40. Carbofurano	mgL ⁻¹	0,007
41. Clorotoluron	mgL ⁻¹	0,03
42. Cianazina	mgL ⁻¹	0,0006
43. 2,4-DB	mgL ⁻¹	0,09
44. 1,2- Dibromo-3-Cloropropano	mgL ⁻¹	0,001
45. 1,2-Dibromoetano	mgL ⁻¹	0,0004
46. 1,2- Dicloropropano (1,2- DCP)	mgL ⁻¹	0,04
47. 1,3- Dicloropropeno	mgL ⁻¹	0,02
48. Dicloroprop	mgL ⁻¹	0,1
49. Dimetato	mgL ⁻¹	0,006
50. Fenoprop	mgL ⁻¹	0,009
51. Isoproturon	mgL ⁻¹	0,009
52. MCPA	mgL ⁻¹	0,002
53. Mecoprop	mgL ⁻¹	0,01
54. Metolacoloro	mgL ⁻¹	0,01
55. Molinato	mgL ⁻¹	0,006
56. Pendimetalina	mgL ⁻¹	0,02
57. Simazina	mgL ⁻¹	0,002
58. 2,4,5- T	mgL ⁻¹	0,009
59. Terbutilazina	mgL ⁻¹	0,007
60. Trifluralina	mgL ⁻¹	0,02
61. Cloropirifos	mgL ⁻¹	0,03
62. Piriproxifeno	mgL ⁻¹	0,3
63. Microcistin -L-R	mgL ⁻¹	0,001
64. Bromato	mgL ⁻¹	0,01
65. Bromodiclorometano	mgL ⁻¹	0,06
66. Bromoformo	mgL ⁻¹	0,1
67. Hidrato de cloral		
68. Cloroformo	mgL ⁻¹	0,2
69. Cloruro de cianógeno	mgL ⁻¹	0,07
70. Dibromoacetónitrilo	mgL ⁻¹	0,1
71. Dibromoclorometano	mgL ⁻¹	0,05
72. Dicloacetato	mgL ⁻¹	0,02
73. Dicloroacetónitrilo	mgL ⁻¹	0,9
74. Formaldehído	mgL ⁻¹	0,02
75. Monocloroacetato	mgL ⁻¹	0,2
76. Tricloroacetato	mgL ⁻¹	0,2
77. 2,4,6- Triclorofenol		

Fuente: DIGESA, 2011

D. Artículo 63°.- Parámetros de control obligatorio (PCO)

Son parámetros de control obligatorio para todos los proveedores de agua, los siguientes:

1. Coliformes totales;
2. Coliformes termotolerantes;
3. Color;
4. Turbiedad;
5. Residual de desinfectante; y
6. pH

En caso de resultar positiva la prueba de coliformes termotolerantes, el proveedor debe realizar el análisis de bacterias *Escherichia coli* como confirmativa de la contaminación fecal.

1.1.1. USUARIOS DEL AGUA POTABLE

Los usuarios de agua potable están clasificados en dos rubros: Residencial y No Residencial. Los de nivel Residencial abarca dos subniveles: social y doméstico. Los de nivel No Residencial abarca tres subniveles: comercial y otros, industrial y estatal (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2011). En el presente proyecto se va a considerar agua potable para el Nivel No Residencial, en especial para uso comercial e industrial.

1.2. MATERIA PRIMA: AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA

1.2.1. RAZONES PARA LA REUTILIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

El 66% de la población peruana se asienta en la costa, pero esta alberga un 2.2% de los recursos hídricos de todo el país. A un así, se prevé que en los próximos 20 años la costa central y norte del país perderá hasta el 40% de sus fuentes de agua.

Todos los modelos climáticos aplicados en la costa demuestran que habrá menos agua disponible. Se perderá agua de los glaciares, las precipitaciones, el cual de los ríos y el acuífero. Se estima que los caudales de los ríos perderán el 10.3% de su acuífero y el nivel de lluvias bajarán en 11% (Perú 21, 29/11/2014).

Según la Autoridad Nacional del Agua (ANA): “Estamos en emergencia. Ya llevamos cinco años con déficit de lluvias porque el cambio climático es un hecho. Cada vez tenemos menos precipitaciones. La situación es crítica si analizamos el estado actual de los reservorios en el país; y las proyecciones nos dicen que los años siguientes seguirán siendo así”. En la parte alta de Piura, Lambayeque, La Libertad, Ancash, Lima, Arequipa y Moquegua no se recibieron lluvias suficientes. Al no llover en la sierra, los embalses de la costa disminuyen. De los 700 embalses que tiene el Perú, los 60 más importantes se ubican en la costa del país (La República, 27/11/2016).

Esta situación de escasez de fuentes de agua para producir agua potable ya ha sucedido en varios países donde destaca en el caso de Singapur donde en el periodo 1963 – 1964 vivieron en estado de racionamiento y escasez de agua. Para el año 2016 de los 2 millones de m³/día de agua potable que consume a nivel doméstico e industrial el 30% proviene del reusó de aguas servidas doméstico y se prevé que para el 2060 con el doble de consumo de agua potable el reusó de aguas servidas llegará a 55%. Sembcorp ha sido el pionero en la reutilización de aguas servidas en Singapur transformando aguas residuales domésticas en agua industrial de alta calidad. Sembcorp utiliza la tecnología NEWater y se han instalado plantas que procesan desde 30000 hasta 228000 m³/día de aguas servidas; esta última considerada la planta de reciclaje de aguas servidas más grandes del mundo (Miquel, 2016).

1.2.2. DISPONIBILIDAD DE AGUAS RESIDUALES

La materia prima para este proyecto proviene de las aguas residuales de los distritos de Chiclayo, José Leonardo Ortiz y La Victoria que desembocan en las lagunas de oxidación de San José. En la actualidad se tiene dos PTAR: San José que trata 590 l/s y PTAR Pampa de Perros con una capacidad máxima de tratamiento de 23 l/s (SUNASS, 2018). Es necesario mencionar que en horas punta: 6-8 a.m. y de 12-2 p.m., se tiene un caudal máximo de 1.5 l/s, que se distribuye para las lagunas de Pampas de Perros (250 l/s) y San José (800 l/s).



1.2.3. CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES

A continuación, se presenta los principales parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales que llagan a las PTARs San José y Pampas de Perros.

La temperatura promedio es 22°C y el contenido de cloruros varía desde 106.60 hasta 139.92 ppm. Como se muestra en la Tabla 1.4.

Tabla 1.4. Propiedades fisicoquímicas de aguas residuales de la ciudad de Chiclayo

Mes	pH	T °C	Cloruros	Conductividad (μS/cm)	DBO _{ST} (mg/L)	SST (ml/L/h)	Col. Total (NMP/100mL)
Enero	7,18	25,0	139,92	1.300,67	141,56	2,63	4,76*10'
Febrero	7,62	25,5	129,96	1.170,00	143,55	2,40	4,45*10'
Marzo	7,51	22,7	106,60	1.251,00	188,10	1,77	3,50*10'
Abril	7,32	24,0	124,93	1.219,00	200,67	1,75	5,40*10'
Mayo	7,32	20,5	117,46	1.075,00	198,00	1,40	6,30*10'
Junio	7,43	20,3	119,98	1.269,66	198,28	1,97	3,50*10'
Julio	7,60	20,3	131,58	1.345,00	156,75	2,03	4,13*10'
Agosto	7,47	20,5	134,93	1.265,50	168,30	2,10	4,45*10'
Septiembre	7,58	19,5	119,93	3.311,50	221,45	2,15	5,40*10'
Octubre	7,77	18,5	169,90	1.343,00	240,10	1,35	4,45*10'
Noviembre	7,41	21,0	109,93	1.260,00	215,35	2,35	3,50*10'
Diciembre	7,55	22,5	134,90	1.208,50	240,07	4,45	5,44*10'

Fuente: EPSEL, recuperado de Chávez, 2008

El contenido de DQO varia de 141.56 a 240.10 ppm. Para el proyecto se va a considerar el mayor valor de 240 ppm.

1.3. EL ANÁLISIS DEL MERCADO

En esta sección se hace un análisis de los posibles consumidores del agua que se va a producir. Según las características del producto esta se puede utilizar como agua potable residencial y no residencial. Pero, teniendo en cuenta que el uso directo del producto como agua para beber sería los primeros años traumáticos, se va a considerar para el presente proyecto solo el uso no residencial, es decir el comercio y la industria.

El objetivo de esta sección es demostrar que en un futuro muy próximo existirá una mayor demanda de agua potable y que el desabastecimiento por falta de agua cruda justificaría el uso de las aguas residuales domésticas como materia prima para agua potable de uso residencial.

1.3.1. MERCADO POTENCIAL

La producción máxima de agua potable para uso residencial y no residencial en la ciudad de Chiclayo depende de la capacidad de las dos plantas de tratamiento de EPSEL, y del abastecimiento de agua cruda que tiene como fuente principal la Captación y Conducción de las aguas superficiales que abastecen al Valle Chancay – Lambayeque y afluentes, que discurren a la vertiente Atlántico a través de las obras de derivación de la primera etapa del Proyecto de Tinajones.

La capacidad de las dos plantas de tratamiento de EPSEL son de 700 y 750 l/s para las plantas de tratamiento 1 y 2 respectivamente (EPSEL, 2019).

Por lo tanto, se concluye que la máxima oferta de agua potable para uso residencial y no residencial es de 1450 l/s. Se asume en el proyecto que la inminente escasez de agua cruda en los próximos 10 años hará disminuir la oferta actual, y por lo tanto se hará necesario buscar otras fuentes alternativas como las aguas residuales, que es motivo de este proyecto.

En la tabla 1.5. se presenta los porcentajes de uso de agua potable abastecida por EPSEL S.A.

Tabla 1.5. Distribución de agua potable por sectores

Tipo de consumo	% de participación
Doméstico	70.98
Comercial	22.82
Industrial	6.19
Pimentel	0.01

Fuente: Elaborado por el autor, en base a datos de Luque (1992)

El uso de agua comercial e industrial suma 29.01% del total que se abastece como agua potable.

1.3.2. DEMANDA PROYECTADA

Si asimismo que la producción actual es igual a la demanda actual, esta sería la máxima producción de las dos plantas de tratamiento de EPSEL, es decir 1450 l/s. tomando en cuenta que el 91.66% de la población de Chiclayo tiene acceso a agua potable (INEI, 2018), la demanda proyectada sería igual a 1571 l/s.

La diferencia no muy alta, y el abastecimiento solo peligraría en el caso de falta de agua cruda. En términos de población en la actualidad entre Chiclayo y Pimentel se pretende abastecer a una población de 612992 habitantes. Pero hay que tener en cuenta que EPSEL abastece también a otros lugares que en total para el 2018 representan 921025 habitantes, para el 2023 serán 1003626 habitantes (SUNASS, 2018).

En base a la población estimada y en términos de volumen para el año 2018 solo para Chiclayo y Pimentel la demanda es 1182 l/s y la proyección para el año 2023 es 1298 l/s (SUNASS, 2018).

Es decir, casi la totalidad de la capacidad de diseño de las plantas de tratamiento de agua de la ciudad de Chiclayo que en total es de 1450 l/s.

Los valores estimados por SUNASS (2018) tienen en algo de similitud al cálculo previamente realizado líneas arriba. Estando en el límite de uso de capacidad instalada se justifica el proyecto se está realizando.

1.3.3. DEMANDA PROYECTADA POR RESERVORIOS DE ALMACENAMIENTO

Chiclayo cuenta con cuatro tanques elevados distribuidos en cuatro puntos distintos. Como se muestra en la figura 1.2.

- a) Tanque elevado 3000 m³, ubicación: Av. Andrés Avelino Cáceres – Prolongación Av. Fitzacarrald (Aeropuerto).

- b) Tanque elevado 3000 m³, ubicación: Av. Miguel Grau, prolongación calle Tacna, Prolongación Av. Francisco Bolognesi.
- c) Tanque elevado 500 m³, ubicación: Parque Industrial.
- d) Tanque elevado 800 m³, ubicación: Calle María Parado de Bellido, Pueblo Joven Nueva Jerusalén.

El total de reservorios es 7300 m³, lo cual significa que en porcentaje de participación se tiene: 41.09, 41.09, 6.85 y 10.97% para los reservorios a, b, c y d respectivamente.

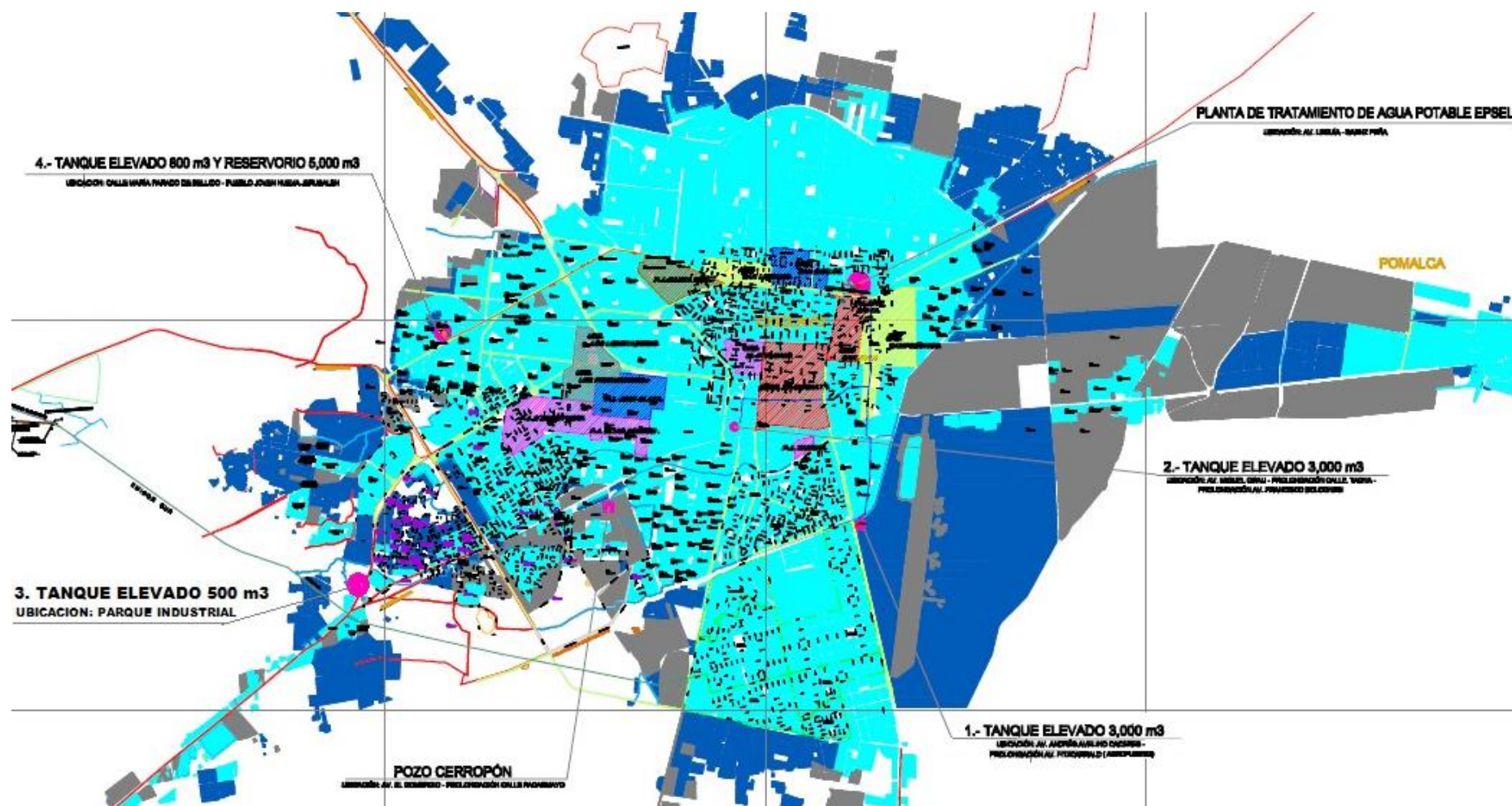


Figura 1.2. Tanques elevados que abastecen agua a la ciudad Chiclayo y Pimentel (Municipalidad Provincial de Chiclayo, 2012)

Entonces la demanda proyectada por cada tanque sería:

Tanque elevado 1: $1571 \times 0,4109 = 645.52 \text{ l/s}$

Tanque elevado 2: $1571 \times 0.4109 = 645.52 \text{ l/s}$

Tanque elevado 3: $1571 \times 0.0685 = 107.61 \text{ l/s}$

Tanque elevado 4: $1571 \times 0.1097 = 172.34 \text{ l/s}$

1.3.4. COMERCIALIZACIÓN

Se considera que la comercialización seguirá a cargo de EPSEL quienes tienen la experiencia necesaria en este rubro. Se utilizará la misma red de abastecimiento de EPSEL, dando énfasis abastecer a zonas donde están ubicadas los grandes consumidores como universidades, colegios, hoteles, centros recreacionales, industriales y otros donde se utilice sin problemas el producto del presente proyecto.

1.3.5. PRECIOS DE AGUA POTABLE

El precio del producto deberá ser similar al precio del agua potable que se abastece en la actualidad a los usuarios de la ciudad de Chiclayo. Este precio se basa en los costos operativos. En la figura 1.3. se presenta los costos operativos y la tarifa media que tiene actualmente EPSEL.

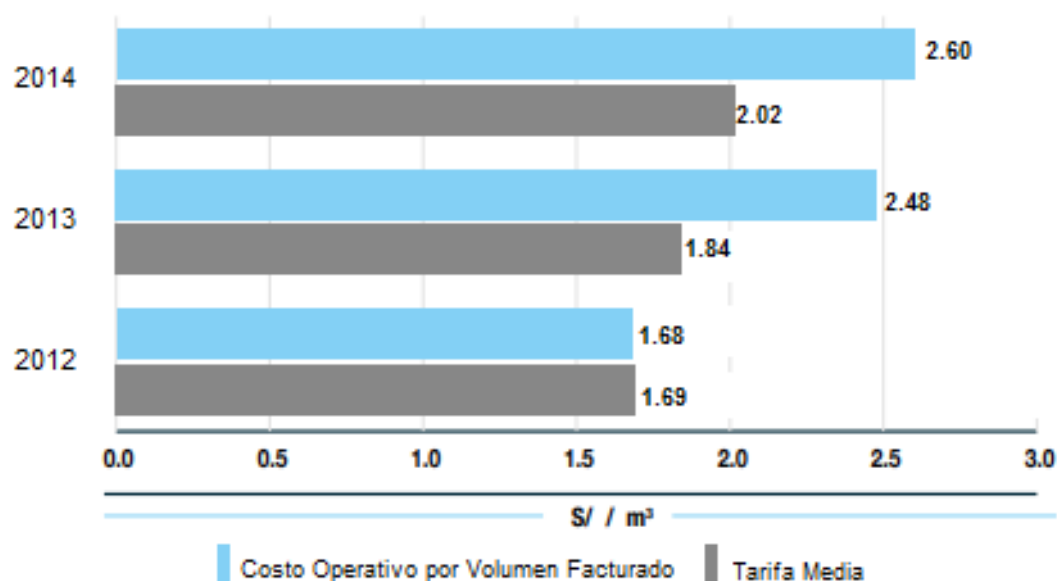


Figura 1.3. Costo Operativo por Volumen Facturado y Tarifa Media – EPSEL S.A. (OTASS, 2015)

A partir de marzo del 2016 se viene aplicando las siguientes tarifas mostradas en la Tabla 1.6. Para el año 2019 en adelante, EPSEL ha presentado una propuesta de estructura tarifaria mostrada en la Tabla 1.7.

Tabla 1.6. Estructura tarifaria vigente – 2018

Clase	Categoría	Rango m³/mes	Tarifaria (\$/m³)		Cargo fijo	Asignación de consumo (m³/mes)
			Agua	Alcantarillado		
Residencial	Social	0 a 10	0,363	0,162	1,41(*)	10
		10 a más	0,693	0,307		
	Doméstico	0 a 8	1,021	0,452	1,41	20
		8 a 20	1,219	0,538		
		20 a más	2,430	1,077		
No Residencial	Comercial	0 a 35	2,022	0,892	1,41	35
		35 a más	3,620	1,602		
	Industrial	0 a más	7,268	3,211	1,41	60
		0 a 30	1,336	0,591		
	Estatul	30 a más	2,667	1,178	1,41	40

Fuente: EPSEL S.A., recuperado de SUNASS, 2018

Esto quiere decir que por ejemplo para un agua industrial en el rango de 0 a 30 m³/mes la tarifa seria 1.41 más 7.268, es decir 8.678 soles/m³.

Tabla 1.7. Estructura tarifaria propuesta para todas las localidades en el ámbito de EPSEL S.A.

Clase	Categoría	Rango m ³ /mes	Tarifaria (\$/m ³)		Cargo fijo	Asignación por consumo (m ³ /mes)
			Agua	Alcantarillado		
Residencial	Social	0 a 10	0,375	0,166	0,000	10
		10 a más	0,693	0,307	2,320	
	Doméstico	0 a 8	0,941	0,417	2,320	(*)
		8 a 20	1,302	0,577	2,320	
		20 a más	2,446	1,084	2,320	
No Residencial	Comercial y otros	0 a 35	3,789	1,680	2,320	35
		35 a más	7,260	3,218	2,320	
	Industrial	0 a más	2,126	0,941	2,320	60
		0 a 30	2,741	1,215	2,320	
	Estatat	30 a más	2,667	1,178	2,320	40

Fuente: EPSEL S.A., recuperado de SUNASS, 2018

De acuerdo a lo propuesto el precio de venta de agua industrial sería en este caso 2.320 más 7.260, es decir 9.58 soles/m³, al cambio 2.86 dólar/m³.

1.4. CAPACIDAD DE PLANTA

Para determinar la capacidad de la planta se ha considerado la demanda proyectada en base a la capacidad de almacenamiento de los tanques elevados 3 y 4 de la compañía EPSEL. Entre los dos tanques la demanda proyectada seria 279.95 l/s. La selección de estos tanques se debe a que uno está ubicado en la zona industrial y otro será cerca al abastecimiento a las nuevas urbanizaciones que se están instalando a ambos lados de la carretera a Pimentel, donde se tiene bastantes zonas de regadío de áreas verdes de parques y jardines.

De la Tabla 1.5. se deduce que el 29.01% del agua total se abastece para uso comercial e industrial. Esto quiere decir que la capacidad necesaria para abastecer este requerimiento sería 81.21 l/s.

Sin embargo, hay que tener en cuenta que la ciudad de Chiclayo cuenta promedio con 22 horas de abastecimiento continuo de agua potable, a excepción del tanque elevado 4 que solo se abastece por dos horas diarias debido a que la planta de tratamiento EPSEL con capacidad de diseño de 750 l/s, trabaja solo con una capacidad de 560 l/s (PROINVERSION, 2017).

Este tanque elevado 4 y el tanque elevado 3 están ubicados en las zonas de mayor desarrollo urbano, contando a ambos lados de la carretera a Pimentel con colegios, universidades, hoteles, centros de recreación, urbanizaciones, todas las cuales necesitan agua para regadío de jardines y servicios higiénicos. Teniendo en cuenta este último factor, se considera que debe aumentarse la capacidad proyectada de 81.21 a 100 l/s. Por lo tanto, la capacidad de la futura planta de producción de agua potable a partir de aguas residuales será de 8640 m³/día.

1.5. CONCLUSIONES DEL ESTUDIO DE MERCADO

Se concluye la demanda de agua potable de uso residencial y no residencial para la provincia de Chiclayo será igual mayor que la capacidad de producción de las plantas actuales de tratamientos que en total suman 1450 l/s. incluso, según PROINVERSION (2017) actualmente una zona de la Ciudad (los PP.JJ: Villa Hermosa, La Explanada, Milagro de Dios, Javier Castro, Santa Lucia, 04 de Julio, Los Claveles, Nazareno Cautivo, Nuevo Horizonte y otros) solo tiene abastecimiento de agua dos horas al día, mientras que el resto de la ciudad en promedio tiene 22 horas al día.

Respecto a la disponibilidad de aguas residuales se tiene que en total llega a las PTARs de San José 820 l/s (según capacidad de diseño), pero en horas punta el caudal registrado es de 1050 l/s.

Solo para abastecer a la zona de mayor escasez y al tanque elevado del parque industrial, se ha considerado producir 100 l/s de agua potable para uso no residencial. Para este fin se ha considerado que la demanda en estas zonas estará asegurada debido a la presencia en ambos lados de la carretera a Pimentel de colegios, universidades, hoteles, centros de recreación, urbanizaciones quienes requieran cantidades abundantes de agua potable para regadío de áreas verdes.

CAPITULO II

INGENIERÍA DEL PROYECTO

En este capítulo se aplicará el estudio de ingeniería del proyecto. Se detalla la descripción del proceso, el balance de masa y energía. Se detalla la descripción de los principales equipos de proceso, la distribución de la planta y las consideraciones ambientales que se tendrá en cuenta por la instalación de la futura planta de producción de ácido fórmico a partir de reacción directa del dióxido de carbono.

2.1. EL EFLUENTE DE LAS PLANTAS CONVENCIONALES DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

De acuerdo a estudios realizados por RIWA de los Países Bajo (Rhine Water Works the Netherlands, 2015), los efluentes de las plantas convencionales de tratamiento de aguas residuales tienen un alto nivel de sustancias orgánicas, muchas de las cuales son eliminadas por las orinas de las personas. Entre la lista de compuestos orgánicos que se encuentran en estos efluentes tenemos: retardantes de llama, compuestos fluorinados, MTBE (methy-tert – butylether), nomifenles flalatos, compuestos orgánicos sulfonados, fragancias de almizcle, agentes de protección solar, desinfectantes (triclosán, clorofeno), productos farmacéuticos (antibióticos, drogas para el tratamiento del cáncer, medios de contraste de diagnóstico, estrógenos, anti-inflamatorios, analgésicos, reguladores de lípidos y beta-bloqueadores), pesticidas usados en áreas domésticas (glifosato, paraquat), y drogas de fiestas (pastillas desengrasantes, viagra, áxtasis).

Ahora que se conoce que la gran mayoría de compuestos orgánicos son persistentes y que no se eliminan en los procesos convencionales de tratamiento de agua, en Europa han comenzado a considerar un proceso adicional, que va desde procesos de oxidación avanzada, por ejemplo, con ozono, hasta el uso de Reactores Biológicos de Membrana (Membrane Biological Reactors – MBRS).

Los MBRs son lo más utilizados, lo cual incluye el uso de una membrana semipermeable ya sea sumergida o en conjunto con un proceso de lodos activados. El tratamiento convencional se muestra en la Figura 2.1.

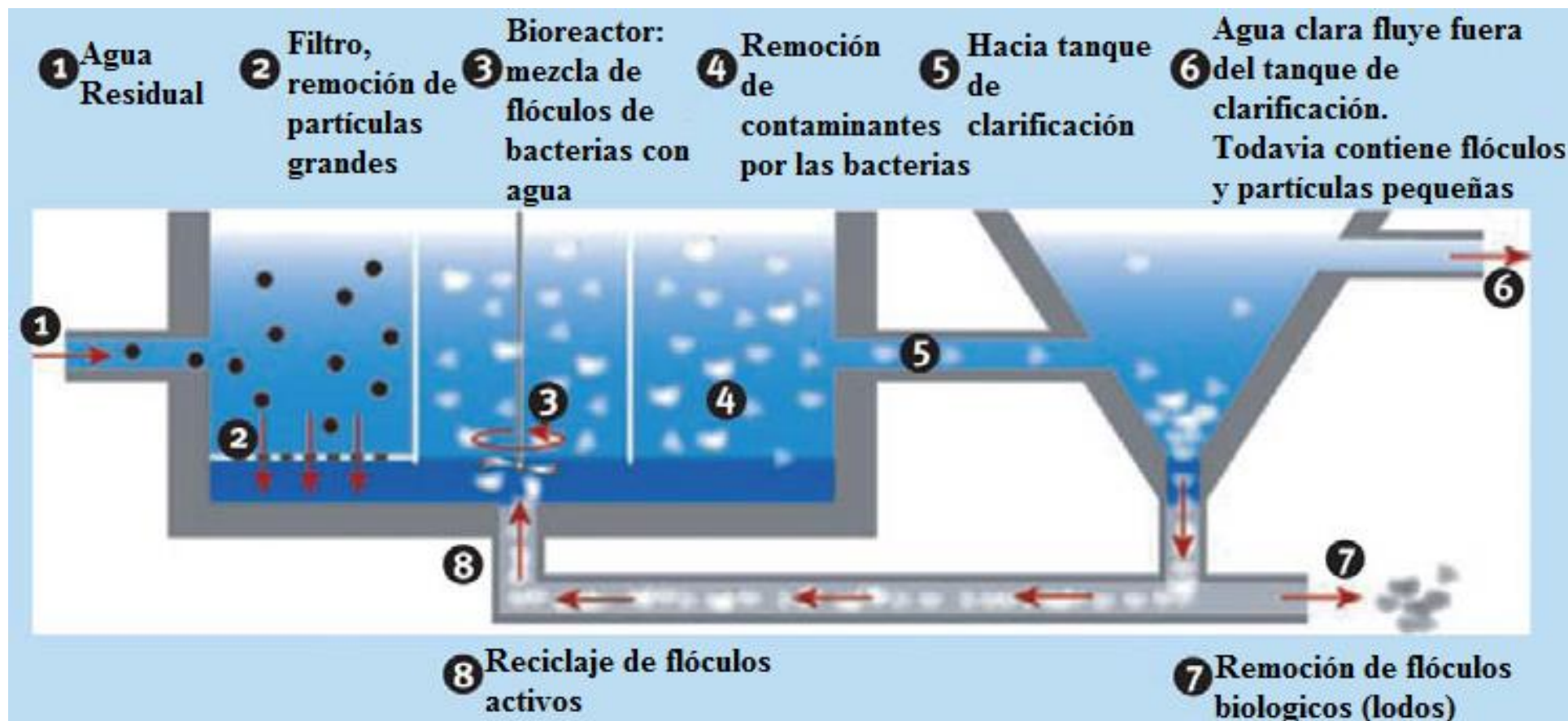


Figura 2.1. Representación esquemática de un proceso de tratamiento de aguas residuales convencional (Van Beelen, 2007)

2.2. TECNOLOGÍAS DE REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

Han surgido varias tecnologías de reutilización de aguas residuales domésticas para transformarlos en agua industrial de alta calidad o en algunos casos agua potable para consumo humano.

a) Tecnología NEWater de Sembcorp

Tal vez una de las más antiguas, instaló su primera planta de 30000 m³/día en el año 2000. En esta tecnología después de aplicar el tratamiento tradicional de las aguas residuales esta se somete primero a una filtración en doble medio (arena y antracita) reteniendo partículas de 10 a 20 micrones.

Luego el agua pasa por una microfiltración reteniendo partículas de hasta 0.2 micrones. El tercer paso es el uso de ósmosis inversa para obtener un agua ultrapura y finalmente la desinfección con ultravioleta.

Para su uso industrial o como agua potable se hace mezcla con agua potable que provienen de las plantas de tratamiento tradicionales para lograr el nivel de sales adecuado. Como se muestra en la Figura 2.2.

Proceso NEWater

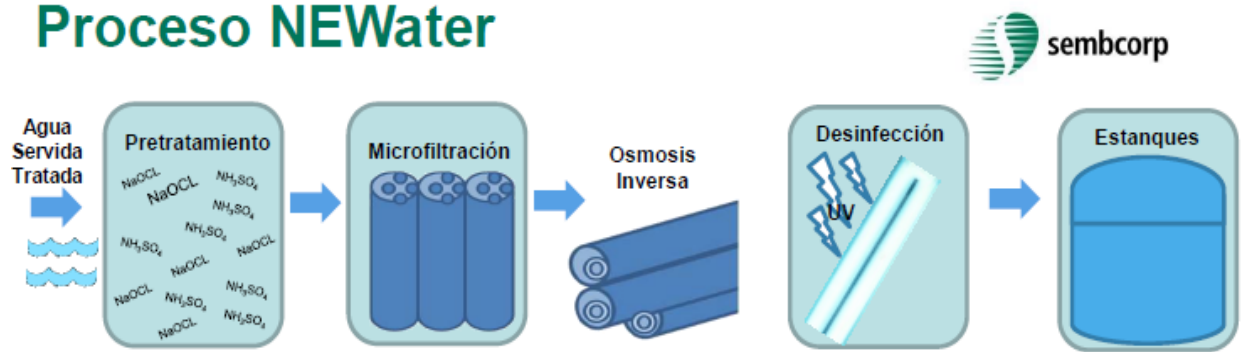


Figura 2.2. Etapas necesarias para obtención de agua potable, según Proceso NEWater

Esta empresa, ha instalado en el 2010 una planta de tratamiento de aguas residuales de 228000 m³/día. La etapa de microfiltración consta de 6720 membranas instalado en 7 trenes de operación con un 93% de recuperación. La etapa de ósmosis inversa de 13860 membranas instaladas en 10 trenes con una recuperación de 80%.

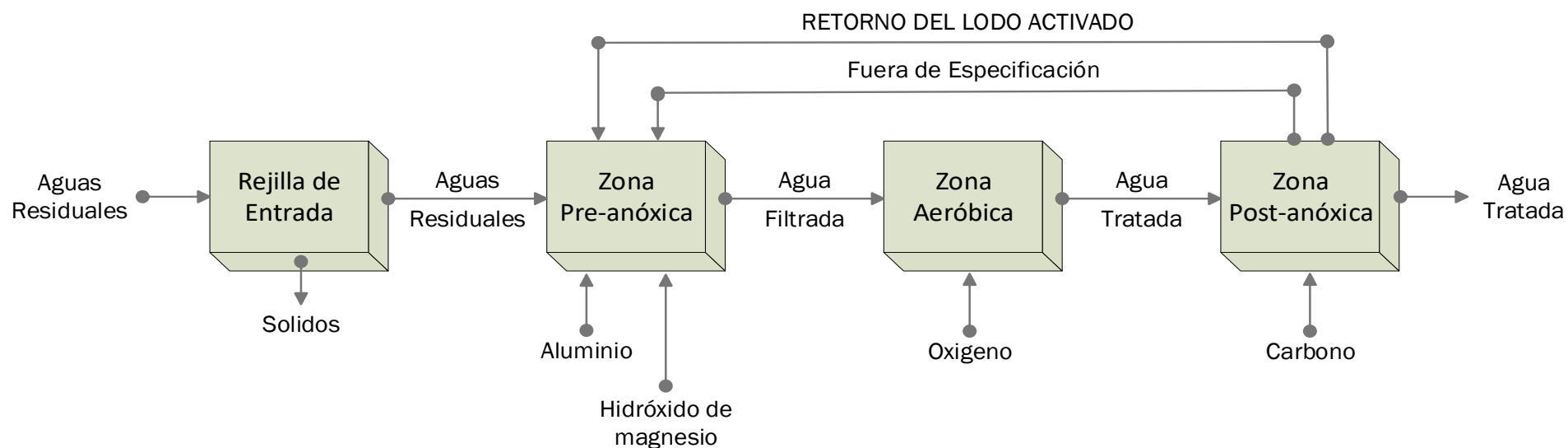
Para la etapa de pretratamiento el proceso NEWater, después de tratamiento primario (rejilla de entrada), utiliza el tratamiento biológico con lodos activos, como tratamiento secundario. Para asegurar el tratamiento de nitritos y nitratos una zona pre-anóxica y para el tratamiento de fósforo utiliza una zona post- anóxica. Ver Figura 2.3.

En la Tabla 2.1. se presenta la calidad del agua que se pueda obtener después del proceso NEWater.

Tabla 2.1. Calidad del agua obtenida con el proceso NEWater

Parámetros de Calidad del Agua	Agua Cruda	NEWater
Turbiedad (NTU)	≤ 25	$< 0,2$
Color (Unidades Hazen)	≤ 50	< 5
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	≤ 2100	< 150
pH	5,8 – 7,5	7,0 – 8,5
Nitrógeno Amoniacal como N (mg/l)	≤ 6	
Sólidos Disueltos Totales (mg/l)	≤ 1330	
Carbón Orgánico Total (mg/l)	≤ 25	$< 0,1$
Dureza como CaCO_3 (mg/l)	≤ 145	< 5
Fosfatos como PO_4 (mg/l)	≤ 35	
Alcalinidad total como CaCO_3 (mg/l)	≤ 170	
Silicato reactivo (mg/l SiO_2)	≤ 15	
Boro B (mg/l)	$\leq 0,25$	$< 0,2$
Flúor F (mg/l)	≤ 10	$< 0,5$
Enterovirus (PFY/ml)		No detectable
Coliformes totales (NMP/100 ml)		No detectable
Fuente: Sembcorp Industries, 2016		

Diagrama de Bloques del Tratamiento primario y secundario de las aguas residuales en el Proceso NEWater



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



DIAGRAMA DE BLOQUES

PROYECTO: Instalación de una Planta de Transformación de Agua Residual Doméstica en Agua Potable

DISEÑISTA: Rosa Porras Salazar

FECHA: 22/09/2019

V°B°:

FIGURA N°: 2.3.

b) Tecnología con Biorreactor de Membrana (MBR)

La modificación principal es reemplazo del tratamiento con lodos activados con sus zonas pre-anóxicas y post-anóxicas por un biorreactor de membrana (MBR – membrane biorreactor).

Esta tecnología es superior al de lodos activados no solo porque permite tratar aguas de composición compleja sino también porque es eficiente con elevadas concentraciones de DQO, nitrógeno y fósforo, características que permite eliminar las zonas pre-anóxicas y post-anóxicas del sistema de lodos activados (Lopetegui, Zabala y De la Parra, 2005)

El biorreactor de membrana, el cual es combinación del proceso biológico de lodos activados y filtración con membrana. La eliminación completa de sólidos, una capacidad de desinfección significativa, una eliminación orgánica de alta tasa y alta eficiencia, y una huella pequeña son características comunes, independientemente del tipo de agua residual a tratar o el proceso comercial utilizado. La tecnología MBR también se utiliza en los casos en que la demanda sobre la calidad del efluente excede la capacidad de un proceso convencional de lodos activados.

Una de sus desventajas reportadas es el ensuciamiento de membranas, situación que se ha venido resolviendo año a año con limpiezas físicas y químicas, llegándose en la actualidad a resolver efectivamente esa desventaja. Una ventaja adicional de MBR es que, diferencia del proceso convencional de lodos activados, este acepta grandes variaciones en la carga orgánica.

Existen dos configuraciones del uso de MBR: una configuración sumergida y una configuración externa al tanque de aireación. Por mejor eficiencia se considera la disposición interna. El MBR con membranas externas requiere menos área de membrana, pero consume más energía porque requiere una mayor presión de operación que las MBR con membranas sumergidas.

Las membranas (planas o fibra hueca), ubicadas en contacto directo con biomasa, ofrecen una alta resistencia mecánica y permiten obtener un agua tratada de excelente calidad bacteriológica. La situación de la clarificación convencional por membranas elimina las limitaciones asociadas a la decantación de fangos y simplifica enormemente la línea de tratamiento. Gracias a su diseño contrastado, el sistema MBR ofrece una solución para tratamiento del agua extraordinariamente compacto utilizando una gran concentración de biomasa (8 a 15 g SS/l), con alta edad del fango (Tchobanoglous, Burton y Stensel, 2004). El mayor número de microorganismos concentrados en la película que se forma en las membranas aumenta la velocidad de asimilación de contaminantes.

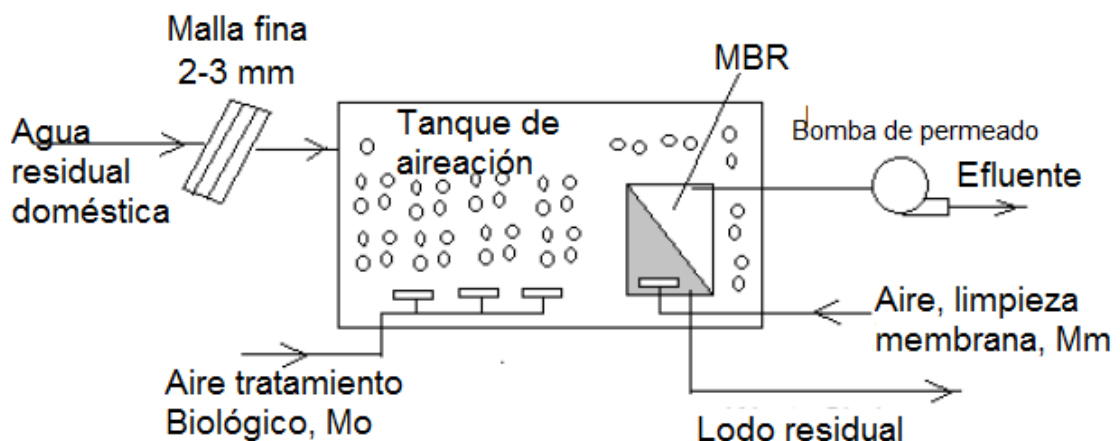


Figura 2.4. Reactor MBR, disposición interna (Tchobanoglous, Burton y Stensel, 2004)

c) Biorreactores con membrana integrada o sumergida

En los biorreactores con membrana integrada sumergida, la unidad de membrana que realiza la separación física está inmersa en el tanque biológico.

La fuerza impulsadora a través de la membrana se alcanza presurizando el biorreactor o creando presión negativa en el lado del permeado de la membrana (Buisson, et al. 1998; Rosenberger et al 2002).

La limpieza de la membrana se realiza a través de frecuentes retrolavados con agua permeada aire y ocasionalmente mediante retrolavados con soluciones químicas. Generalmente, se coloca un difusor de aire justo debajo del módulo de la membrana para suministrar el aire necesario para homogeneizar el contenido del tanque, para el proceso biológico y para la propia limpieza de la membrana.

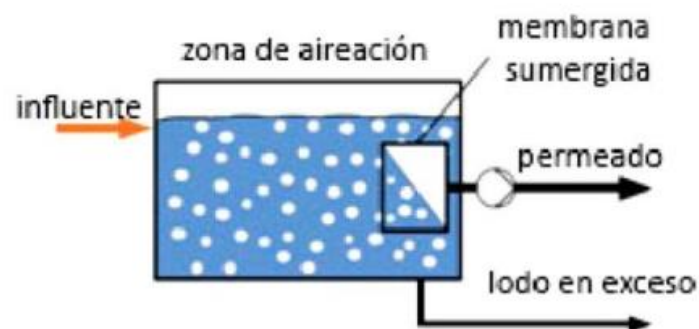


Figura 2.5. Esquema de un biorreactor de membrana de configuración interna (KRAUME, 2007)

d) Sistema Ultravioleta

Los sistemas de tratamiento y desinfección de Agua mediante luz Ultravioleta (UV) garantizan la eliminación de entre el 99,9% y el 99,9 de agentes patógenos. Para lograr este grado de efectividad casi absoluta mediante este procedimiento físico, es totalmente imprescindible que los procesos previos del agua eliminen de forma casi total cualquier turbiedad de la misma, ya que la Luz Ultravioleta debe atravesar perfectamente el flujo de agua a tratar.

Los Purificadores de Agua por Ultravioleta funcionan mediante la “radiación” o “iluminación” del flujo de agua con una o más lámparas de silicio cuarzo, con unas longitudes de onda de 200 a 300 nanómetros.

La luz UV no cambia las propiedades del agua o aire, es decir, no altera químicamente la estructura del fluido a tratado. Implica el manejo de sustancias peligrosas y reacciones que dan como resultado subproductos no deseados, la luz UV ofrece un proceso de desinfección limpio.

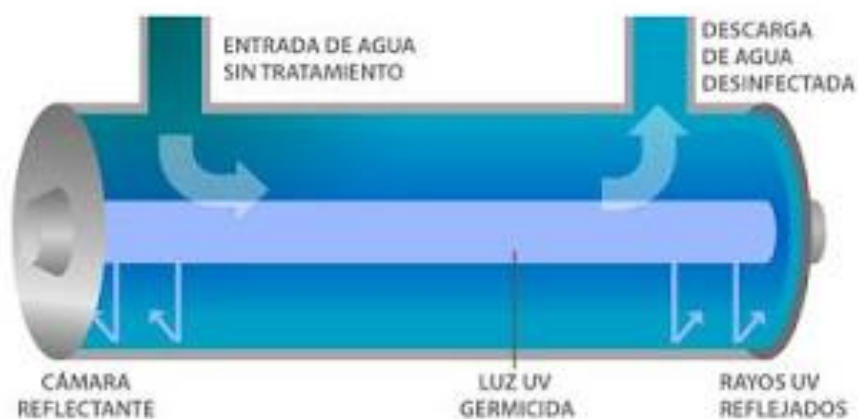


Figura 2.6. Esquema de funcionamiento de un equipo UV (Ghersj, 2010)

e) Ósmosis Inversa

Este proceso consiste en hacer pasar el agua a través de un sistema de ósmosis Inversa, con el cual en su interior con membranas.

Este medio es sumamente eficiente para retener hasta en un 99.5% el contenido de sólidos disueltos. La ósmosis inversa o reserva se ha convertido hoy en día en uno de los sistemas más eficientes para desalinizar y potabilizar el agua. El parámetro fundamental para el funcionamiento del sistema de ósmosis inversa es la Presión, lo cual conlleva a verificar esta verificar esta variable para ejecutar una correcta purificación del agua. Al final del sistema se encuentra el Equipo Panel, dónde se miden la Conductividad, Sólidos totales disueltos (STD) y Temperatura.

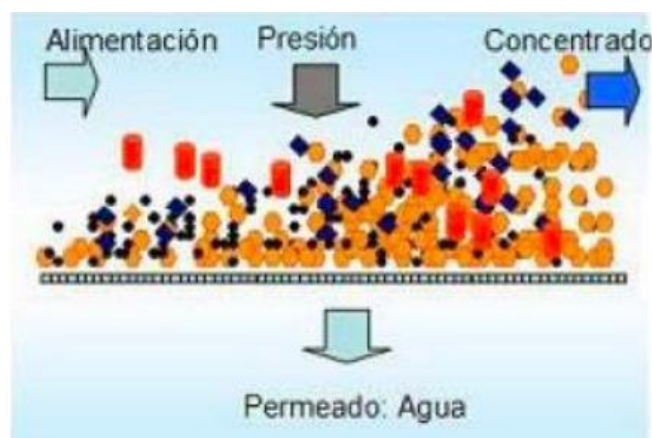


Figura 2.7. Esquema de funcionamiento de un equipo ósmosis inversa (GONZÁLES GÁLVEZ, 2007)

f) Fundamentos de filtración por membrana

Se emplea para la separación de solutos de disoluciones. Las membranas son delgadas películas de compuestos orgánicos, o inorgánicos, capaces de separar los componentes de un fluido, en función de sus propiedades físico químicas, cuando

se aplica una fuerza directora a través de la misma. El funcionamiento de la membrana está dividido en dos: un permeado, conteniendo el material que ha pasado a través de la membrana y un concentrado o rechazo conteniendo las especies que no la atraviesan.

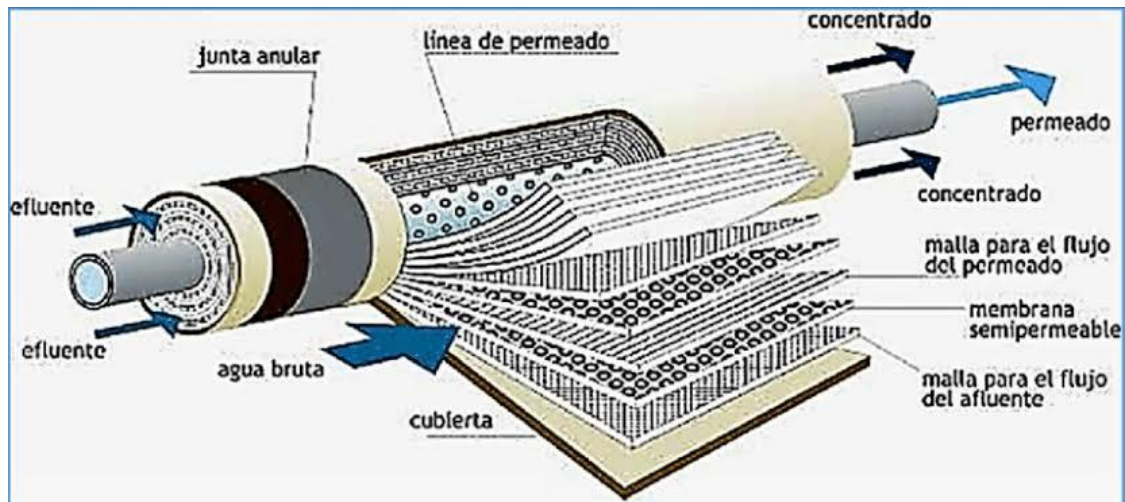


Figura 2.8. Módulo de arrollamiento en espiral (PRATS, 2015)

2.3. SELECCIÓN DE PROCESO

2.3.1. MÉTODO DE CRITERIO TÉCNICO

Por la simplicidad y mayor eficiencia del proceso se selecciona el proceso con biorreactor de membrana, es decir el reemplazo del sistema convencional de tratamiento de lodos activos por un sistema biorreactor biológico de membrana.

El biorreactor de membrana sumergidas se selecciona porque el consumo de energía por volumen de permeado que un décimo de la energía necesaria en el biorreactor de membranas externas. A nivel mundial más del 99% de plantas de tratamiento de agua utilizan las membranas internas.

Dentro de los factores técnicos considerados para poder seleccionar el proceso son:

a) Calidad

El tratamiento de transformación de agua residual doméstica en agua potable con biorreactor de membranas, sistema de desinfección y ósmosis inversa; produce un efluente de excelente calidad capaz de cumplir los requisitos de vertido más rigurosos e incluso generar un efluente perfectamente reutilizable en multitud de aplicaciones, según la legislación aplicada (Chiemchaisriet al. 1992).

El sistema consigue mantener las condiciones operativas estables garantizando una calidad del efluente constante en el tiempo.

b) Estabilidad

Debido a la elevada concentración de sólidos con la que trabajan estos sistemas y a la elevada edad del fango que se establece, presentan mayor estabilidad que los sistemas convencionales en episodios de picos de caudal, carga o ante cambios bruscos en el efluente a la planta.

La tecnología para la planta potabilizadora, especialmente el sistema MBR; permite la separación completa entre el tiempo hidráulico de retención (THR) y el tiempo de retención de sólidos en suspensión (TRS), permite un control óptimo de las reacciones biológicas y una mayor flexibilidad y fiabilidad de uso.

El elemento clave del sistema es su capacidad de absorber variaciones y fluctuaciones de la carga hidráulica y orgánica del sistema MBR.

c) Energía Requerida

El consumo energético es esencial para este proyecto, el propósito de este proyecto es que el consumo eléctrico sea menor y para que así su costo de producción sea también menor.

d) Contaminación

Este factor hay que tener en cuenta, por lo que se requiere que no cause daño a nuestro medio ambiente.

Tabla 2.2. Evaluación de los procesos de transformación de agua residual doméstica en agua potable

FACTORES TÉCNICOS	VALOR PONDERADO	PROCESO SEPARACIÓN	PROCESO BIODEGRADACIÓN Y OXIDACIÓN	PROCESO FILTRACIÓN MBR	PROCESO DESINFECCIÓN UV	PROCESO OSMOSIS INVERSA	PROCESO ESTABILIDAD
CALIDAD	10	8	8	9	7	8	7
ESTABILIDAD	8	5	7	7	6	6	7
ENERGÍA REQUERIDA	8	2	7	6	7	7	5
CONTAMINACIÓN	7	6	5	6	4	5	3
RENDIMIENTO	9	8	8	8	7	7	7
TOTAL	42	29	35	36	31	33	29

Fuente: Elaboración Propia

2.4. DESCRPCIÓN DETALLADA DEL PROYECTO

La descripción detallada se hace en base al diagrama de flujo de la Figura 2.11. las aguas residuales crudas y las aguas recicladas que no cumplen las especificaciones se recogen en un toque regulador para alimentar uniforme a la rejilla de entrada. Este sistema de rejilla tendrá una reja para finos.

La malla para finos debe tamaño de poro de 2-3 mm o menos. Esta etapa se aprovecha para eliminar algo de arena. El agua residual después que pasa la malla de finos ingresa al sistema de biorreactor de membranas sumergidas.

Este biorreactor aireado se produce la eliminación de carbono, nitrógeno y fósforo. A continuación, las membranas de filtración separan el agua del fango activado. El agua se drena con una bomba y el fango en exceso es directamente eliminado del tanque para su posterior tratamiento.

El proceso es capaz de mantener el nivel de filtración en todo momento gracias a diferentes funciones autorizadas: lavado, inyección de aire y limpieza química (Veolia Water, 2006). Ver Figura 2.9.

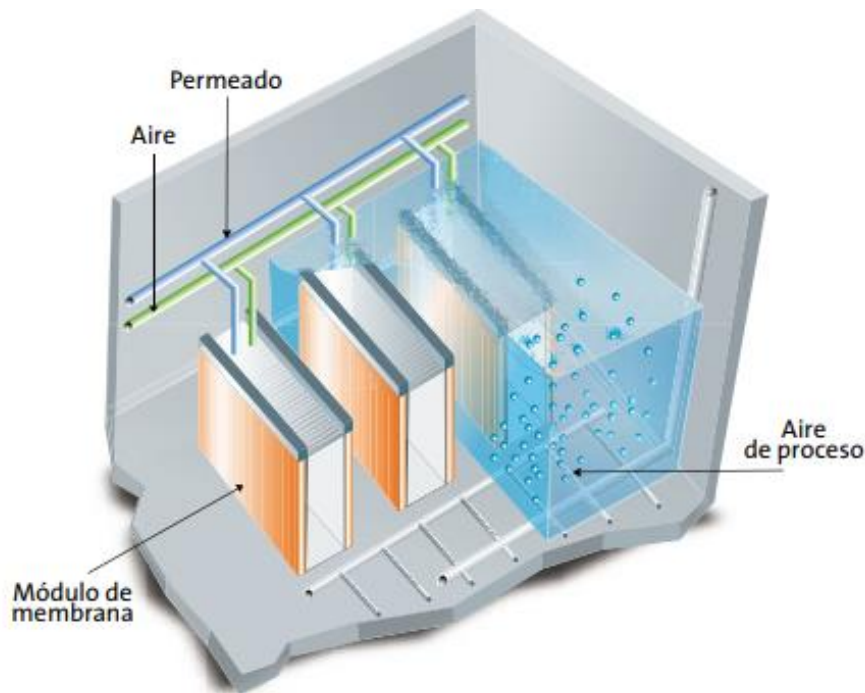


Figura 2.9. Vista en 3D del biorreactor de membranas sumergidas (Veolia Water, 2006)

El aire de proceso abastece oxígeno a los microorganismos, y existe otro flujo de aire que va hacia las membranas para reducir su ensuciamiento. Para que no exista ensuciamiento de las membranas del reactor y se asegure una buena aireación para el tratamiento biológico se recomienda trabajar con un contenido de sólidos en suspensión en el licor mezcla (MLSS) de 8-12 g/L.

Esto permite que los tiempos de residencia hidráulicos para las cargas orgánicas sean mucho menores, con lo que se reduce considerablemente el volumen del reactor (SIGMA MBR, 2016). En la fase de filtración el agua se filtra desde el exterior hacia con baja presión (< 0.5 bar).

Durante la filtración, las membranas retienen el fango y se acumula en la parte exterior, creando una capa concentrada de microorganismos con gran actividad degradativa de

C, N y P. En la fase de lavado el ensuciamiento se previene impulsando el permeado (agua filtrada) en contra corriente en las membranas, y de forma continua se sopla aire para ayudar a liberar depositado. Ver Figura 2.10.

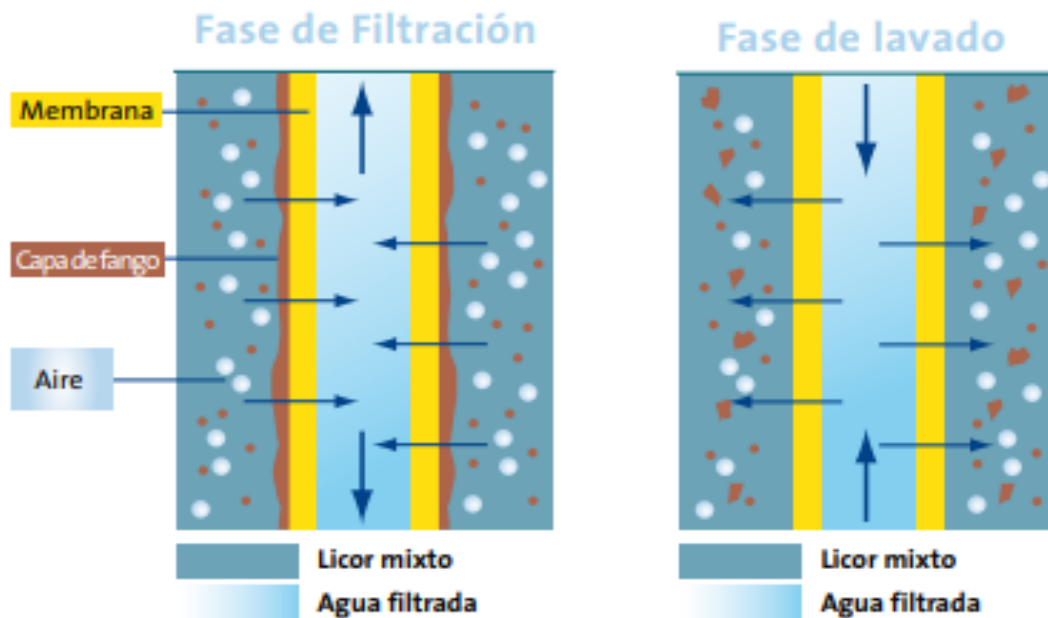


Figura 2.10. Fase de filtración y fase de lavado de la tecnología MBR (Veolia Water, 2006)

Para evitar ensuciamiento de la membrana el flux hacia la membrana ($\text{m}^3/\text{m}^2.\text{h}$), debe tener un valor óptimo. Valores muy bajos no produce turbulencia y el ensuciamiento aumenta. Valores muy elevados hace creer la capa de lodos de forma exponencial. Por eso es necesario un control automatizado.

La remoción de DQO y DBO varia de 96 a 99% de eficiencia. El agua obtenida después del tratamiento en el sistema MBR, con membranas sumergidas tiene las características mostradas en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3. Agua después del tratamiento de biorreactor con membranas sumergidas

DQO	< 30 mg/l
DBO ₅	< 5 mg/l
SS	< 5 mg/l
Nitrógeno	< 10 – 15 mg/l
Fósforo	< 0.5 – 2 mg/l
Coliformes totales	5 log < 100 µ/100 ml
Coliformes termodúricos	5 log < 100 µ/100 ml
Estreptococos fecales (grupo D)	5 log < 100 µ/100 ml
Contenido bacteriofago	3 log

Fuente: Veolia Water, 2006

Para terminar de desinfectar el agua que sale del biorreactor de membranas sumergidas se pasa por un sistema de desinfección con UV. La desinfección de agua por radiación ultravioleta (UV) es un procedimiento físico, que no altera la composición química, ni el sabor ni el olor del agua. Las lámparas germicidas UV de baja presión ofrecen una forma económica de tratar el agua que requiere una reducción del 99,99% en las bacterias, virus y quistes de protozoarios.

La inyección de Metabisulfito de Sodio que se utiliza para el proceso de remoción de cloro residual en agua de alimentación a plantas de ósmosis inversa y evitar así el deterioro físico de las membranas.

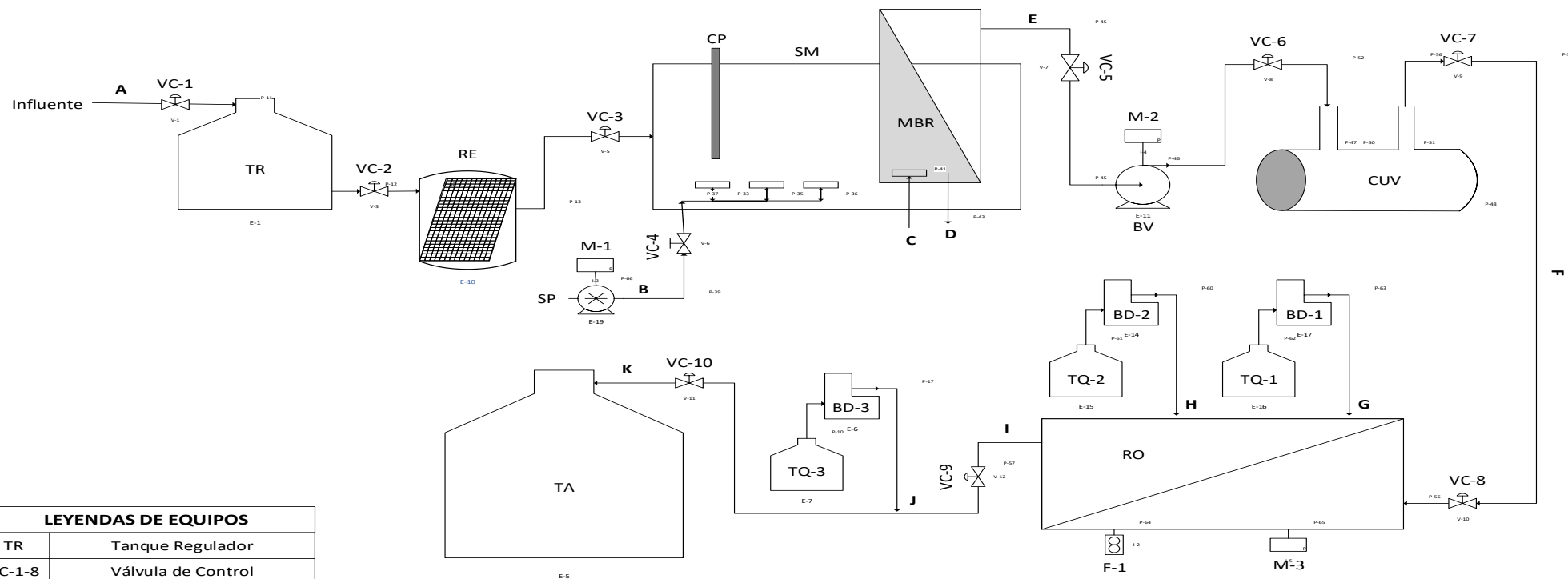
El agua desinfectada luego debe ingresar al sistema Ósmosis Inversa, realiza un proceso en el cual al agua a pasar a través de unas membranas semi-permiables, desde una solución más concentrada en sales disueltas u otros compuestos orgánicos en un 90% de los iones de distintas densidades, a una solución menos centrada. El agua de producto es del 85% aproximadamente y un 15% a drenaje.

La inyección de Hipoclorito de Sodio necesario para desinfectar el agua y desinfectarlas de bacterias y microorganismos nocivos.

2.5. DIAGRAMA DE FLUJO

El diagrama de flujo es un conjunto de etapas de la transformación de agua residual doméstica en agua potable. Se realizó en el programa Microsoft Visio 2003 y muestra en la Figura 2.11.

Diagrama de Flujo del Proceso de Tratamiento de Aguas Residuales para obtención de Agua Potable



LEYENDAS DE EQUIPOS

TR	Tanque Regulador
VC-1-8	Válvula de Control
RE	Rejilla de Entrada
SP	Soplador
SM	Sistema MBR
CP	Control de Proceso
MBR	Membrana MBR
M-1-3	Manómetro
BV	Bomba de Vacío
CUV	Cámara Ultravioleta
BD-1-3	Bomba Dosificadora
TQ-1-3	Tanque Químico
RO	Osmosis Inversa
F-1	Flujómetro
TA	Tanque de Almacenamiento

LEYENDAS DE CORRIENTES

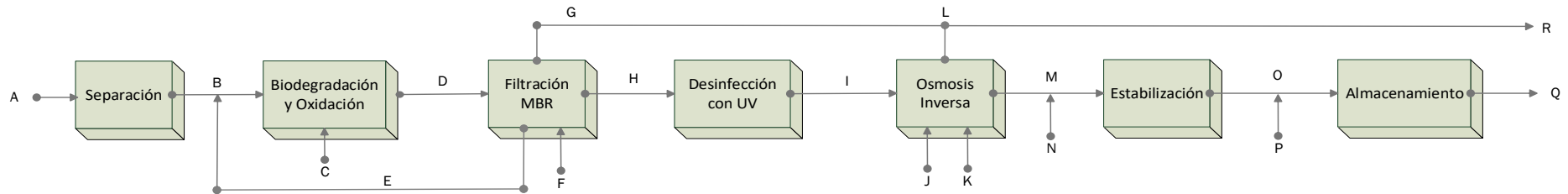
A	Agua Residual Doméstica
B	Oxígeno
C	Aire limpieza de Membrana
D	LODO RESIDUAL
E	Agua Filtrada
F	Agua Desinfectada
G	Anti-incrustante
H	Metabisulfito de Sodio
I	Agua Osmotizada
J	Hipoclorito de Sodio
K	Agua Potable

 UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO 		
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA E INDUSTRIAS ALIMENTARIAS		
DIAGRAMA DE FLUJO		
PROYECTO: Instalación de una Planta de Transformación de Agua Residual Doméstica en Agua Potable		
DISEÑISTA: Rosa Porras Salazar		
FECHA: 22/09/2019	V°B°:	FIGURA N°: 2.11.

2.6. DIAGRAMA DE BLOQUES

El diagrama de bloques muestra las diferentes operaciones en la cual se hace transferencia de masa, así como su respectivo balance de materia. Se muestran en la Figura 2.12.

Diagrama de Bloque del Proceso de Tratamiento de Aguas Residuales para obtención de Agua Potable



Corrientes Componentes	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
Aguas Residuales Domesticas	426,946.14																	
Aguas Residuales		426,946.14																
Oxigeno			91.511															
Agua Tratada				426,946.14														
Aire Tratamiento para limpieza						45.281												
Lodo Residual							4,639.87											
Agua Filtrada					105,742.24			422,969.94	422,969.94									
Anti-incrustante										2.1176								
Metabisulfito											4.2356							
Agua de Rechazo												4,639.867						68,085.009
Agua Potable													359,529.8		359,529.8		359,529.8	
Hipoclorito de Sodio														2.1176		2.1176		

BALANCE DE MATERIA

Caudal de Ingreso:	426,946.14
Caudal de Salida:	359,529.8
Unidad:	kg/h



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA E
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



DIAGRAMA DE BLOQUES

PROYECTO: Instalación de una Planta de Transformación de Agua Residual Doméstica en Agua Potable

DISEÑISTA: Rosa Porras Salazar

FECHA: 22/09/2019

V°B°:

FIGURA N°: 2.12.

2.7. BALANCE DE MASA Y ENERGÍA

El balance de masa se realiza para una producción de 100 litros por segundo, es decir 360 m³/hr o 860 m³/día. Los cálculos se desarrollan en el Apéndice. Las fórmulas se basan en el modelo ASM1 (Activated Sludge Model) modificado por Zaerpour (2014) en su tesis “Diseño Costo y Beneficio de un Biorreactor de Membrana”.

Los parámetros de proceso de la entrada (A) y salida (C) del sistema MBR se presenta en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4. Parámetros de diseño utilizados para el balance de masa

	Corriente A	Corriente C	Calidad Típica de un sistema MBR
Constituyente	Valor	Valor	
DBO ₅ , g/m ³	153.3	0	< 5
DQO, g/m ³	284.9	45	
TSS, g/m ³	92.5	3.94	< 5
TKN, g/m ³	33.8	3.90	
N Total, g/m ³	----	8.49	< 10
Amoniaco, g/m ³	-----	1	< 1

Fuente: Elaboración Propia

2.7.1. CONSUMO DE ENERGÍA EN EL SISTEMA MBR

El consumo de energía en un sistema MBR es mucho mayor que un sistema convencional de lodos activados. Una de las razones principales es el alto consumo de energía eléctrica para operar los sopladores que inyectan aire para la limpieza de las membranas. En la Figura 2.13. se muestra los detalles de los consumos de energía en el sistema MBR.

El 76% de demanda de energía primaria se utiliza para la aireación, tanto para la parte biológica (42%) como para la limpieza de membrana (34%). Para el sistema de bombeo del producto del permeado y los lodos se consume 14% de energía (Zaerpour, 2014).

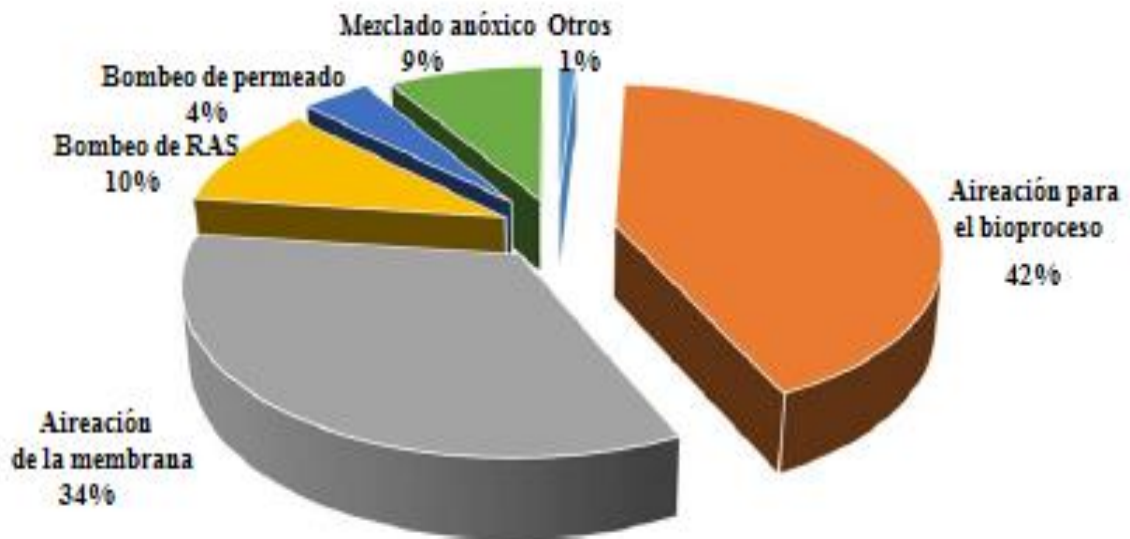


Figura 2.13. Participación porcentual de la demanda de energía operacional (Verrecht, Pham y Nopens, 2009)

Las demandas de potencia instalada se calculan en el Apéndice y se muestran a continuación:

Potencia instalada para aireación: 300 KW

Potencia instalada para bombeo RAS: 50 KW

Potencia instalada para bombeo permeado: 20 KW

Potencia instalada para mezclado anóxico: 40 KW

Potencia instalada para misceláneos: 5 KW

Potencia instalada para ósmosis inversa: 90 KW

Potencia instalada para desinfección con UV: 3.0 KW

CAPITULO III

LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA

Para localizar la planta de producción de agua potable a partir de aguas residuales domésticas se ha tomado en cuenta dos factores principales: materia prima y mercado.

En el caso de la materia prima, se dispone de una canalización que lleva las aguas residuales domésticas de la ciudad de Chiclayo hacia las lagunas de oxidación de San José.

La disponibilidad según la capacidad de diseño es de 820 l/s, por este factor la futura planta de producción de agua potable debería estar ubicada en las cercanías de las lagunas de oxidación de San José.

En el caso de mercado, es decir los consumidores potenciales del producto se considera que la planta debe ubicarse donde hay una mayor escasez de abastecimiento de agua potable y donde estarían los futuros grandes consumidores de agua potable de uso no residencial, es decir colegios, universidades, hoteles, lavaderos de carros, centros de esparcimiento y nuevas urbanizaciones. En este caso la planta debería ubicarse cerca de estos dos lugares: tanque elevado N° 3 (parque industrial) y tanque elevado N°4 (Pueblo Joven Jerusalén).

Combinando la cercanía a la materia prima y la cercanía a los futuros consumidores se ha considera ubicarlo en la carretera a San José, a 10 km del Centro Poblado Ciudad de Dios que está ubicado en las siguientes coordenadas:

Ubigeo: 140311

Latitud Sur: 6°46'21" S (-6.77249640000)

Longitud Oeste: 79°55'14.5" W (-79.92068315000)

Altitud: 15 msnm

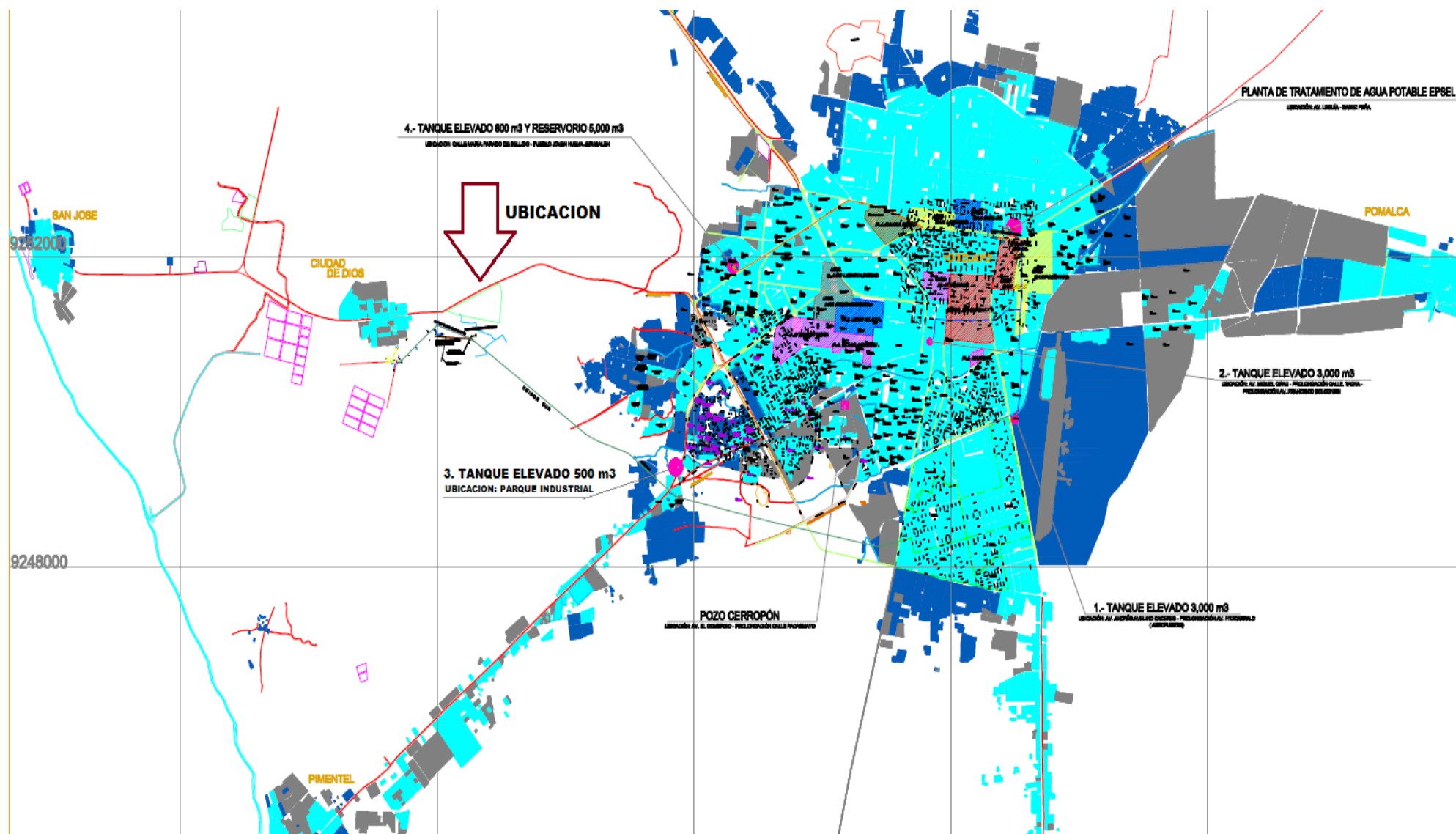


Figura 3.1. Localización de la Planta

CAPITULO IV

DISEÑO Y SELECCIÓN DE EQUIPOS DE PROCESO

4.1. EQUIPOS PRINCIPALES DEL PROCESO

La descripción de los equipos de proceso se basa en el diagrama de flujo de la Figura 2.11. la capacidad será de 100 l/s o 8640 m³/hr. Diseño de los principales equipos de la planta de tratamiento.

4.1.1. TAMIZ DE ESCALERA PARA FINOS

Tabla 4.1. Parámetros del Tamiz de escalera para finos

PARÁMETROS DE REJILLA	
Función:	Separar partículas finas de hasta 2 mm del agua
Modelo:	OZ-500, tipo A
Caudal de Entrada (m ³ /hr) =	430.9
Tamaño de partículas (mm) =	2
Sólidos Sedimentales (mL/L) =	4.45
Cantidad Nominal (m ³ /hr) =	493.2
Caudal de Salida (m ³ /hr) =	428.175
Altura de la lámina de agua (mm) =	500
Anchura del canal (mm) =	1100

Fuente: Elaboración Propia

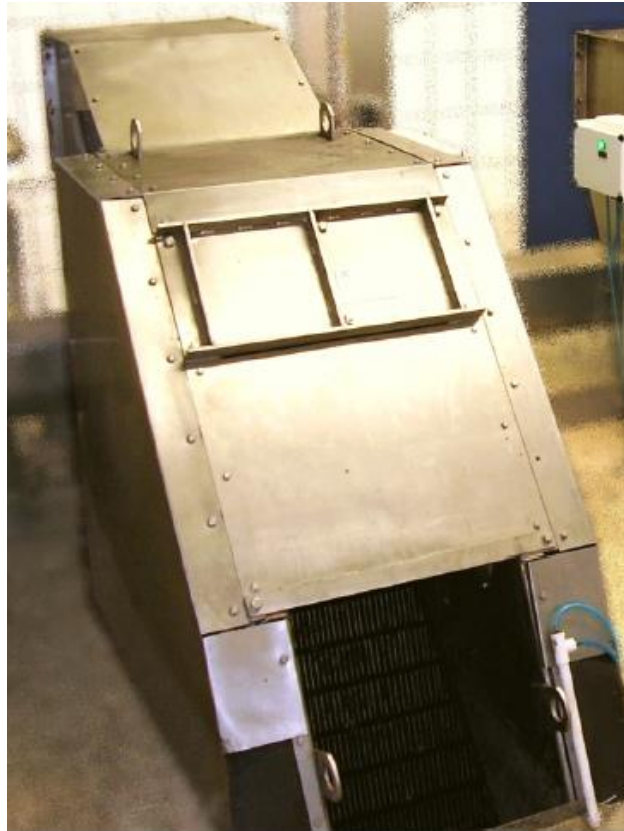


Figura 4.1. Tamiz de escalera para finos

4.1.2. SISTEMA MBR

Tabla 4.2. Parámetros del Sistema MBR

PARÁMETROS DE DISEÑO	
Caudal de Entrada Q_E (m^3/hr) =	428.175
Área Requerida A_m (m^2) =	35681.25
Número de Paneles =	62
Caudal de Salida (m^3/hr) =	423.529
Fuente: Elaboración Propia	

4.1.2.1. TANQUES ANÓXICOS DEL SISTEMA MBR

Tabla 4.3. Parámetros para Tanques Anóxicos

PARÁMETROS	
Función:	Realizar la degradación anaeróbica del sistema MBR
Tipo:	Tanque cilíndrico
Caudal de Ingreso (m ³ /hr) =	428.175
Número de tanques =	10
Volumen total de tanque (m ³) =	150
Volumen de trabajo (m ³) =	128.45
Relación altura/diámetro =	1.1
Diámetro del tanque (mm) =	5578
Altura total (mm) =	6139
Altura de Líquido (mm) =	5257
Fuente: Elaboración Propia	

4.1.2.2. TANQUES AERÓBICOS DEL SISTEMA MBR

Tabla 4.4. Parámetros para Tanques Aeróbicos

PARÁMETROS	
Función:	Realizar la degradación aeróbica del sistema MBR
Tipo:	Tanque cilíndrico
Caudal de Ingreso (m ³ /hr) =	428.175
Números de tanques =	12
Volumen total de tanque (m ³) =	190
Volumen de trabajo (m ³) =	172.73
Relación altura/diámetro =	1.2
Diámetro del tanque (mm) =	6635
Altura total (mm) =	5495
Altura de líquido (mm) =	5000
Oxígeno para tratamiento (kg/hr) =	91.511
Flujo de aire Q _b (m ³ /hr) =	1651.731
Fuente: Elaboración Propia	

4.1.2.3. REACTORES BIOLÓGICOS DE MEMBRANA SUMERGIDA

Tabla 4.5. Parámetros para Reactores Biológicos de Membrana Sumergida

PARÁMETROS	
Función:	Realizar la degradación biológica y filtrar el agua
Tipo de tanque:	Tanque Rectangular
Caudal de Ingreso (m ³ /hr) =	428.175
Número de tanques =	4
Volumen de cada tanque (m ³) =	127
Altura del tanque (m) =	4.71
Ancho (m) =	2.825
Largo (m) =	9.2
Tiempo de retención de Sólidos (SRTd) =	15.485
Producción de Biomasa (kg/day) =	892.398
Caudal de Salida (m ³ /hr) =	423.529
PARÁMETROS DEL PANEL	
Tipo de Panel =	KUBOTA RW 400
Paneles por tanque =	16
Dimensiones de cada panel (mm) =	295x575x4290

Fuente: Elaboración Propia

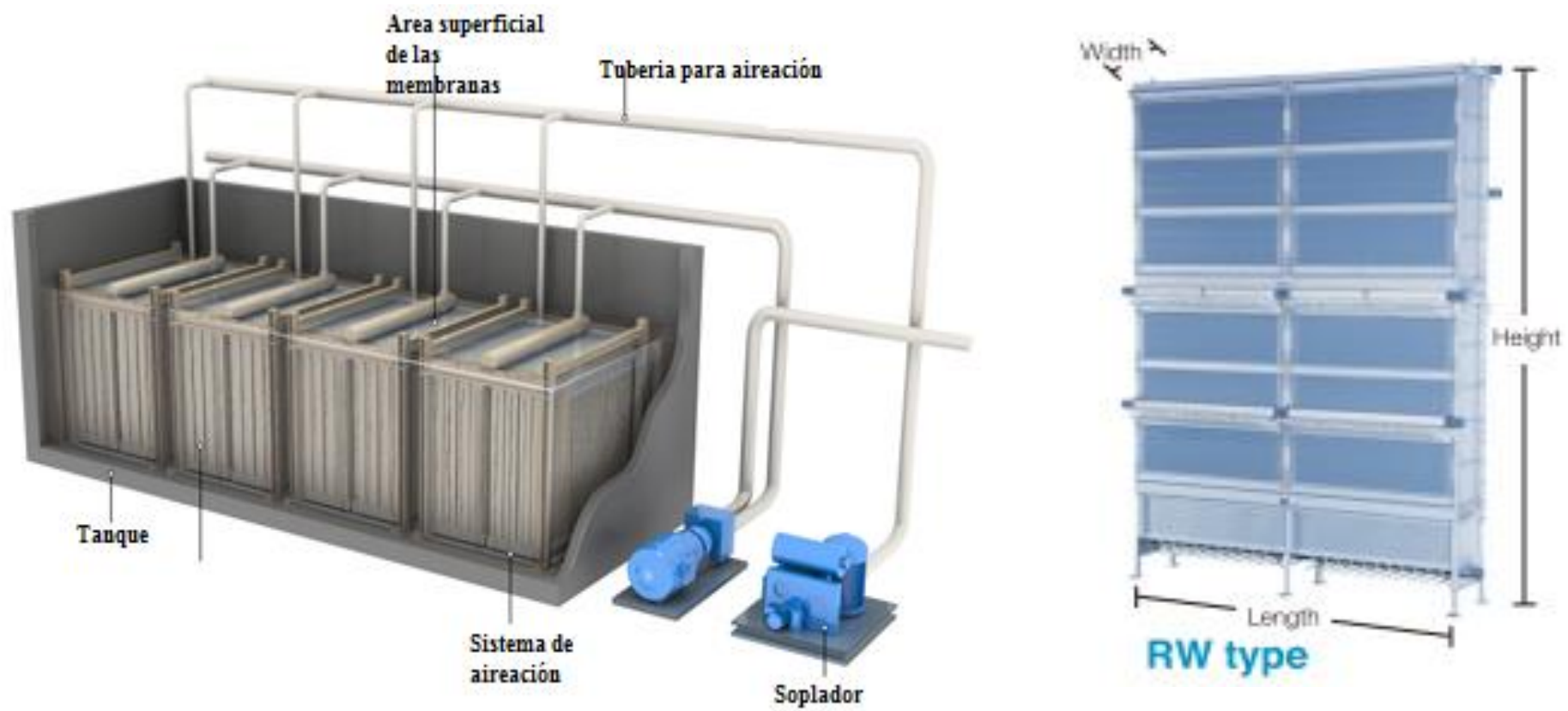


Figura 4.2. Reactor Biológico de Membrana Sumergida

4.1.3. CÁMARAS UV

Tabla 4.6. Parámetros del Equipo Ultravioleta

PARÁMETROS	
Caudal de diseño (m ³ /hr) =	423.529
Modelo seleccionado =	12PE600
Fabricante =	Innovaqua
Caudal nominal (m ³ /hr) =	590
Consumo (W) =	3680
PARÁMETROS DE LA LÁMPARA	
Número de lámparas =	12
Modelo de lámparas =	L-3201
Consumo (W) =	320

Fuente: Elaboración Propia



Figura 4.3. Cámara Ultravioleta

4.1.4. SISTEMA DE DOSIFICACIÓN DE ANTI-INCRUSTANTE

La dosis empleada de Anti-incrustante es de 5 ppm, la capacidad de dosificación es de 2.1176 kg/hr.

4.1.5. SISTEMA DE DOSIFICACIÓN DE METABISULFITO

La dosis empleada de Metabisulfito es de 10 ppm, la capacidad de dosificación es de 4.2353 kg/hr.

4.1.6. ÓSMOSIS INVERSA

Tabla 4.7. Parámetros del Equipo Osmosis Inversa

PARÁMETROS	
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) =	1345
Caudal de Entrada (m^3/hr) =	423.529
Caudal de Rechazo (m^3/hr) =	63.529
Caudal de Permeado (m^3/hr) =	360

Fuente: Elaboración Propia

4.1.7. SISTEMA DE DOSIFICACIÓN DE HIPOCLORITO DE SODIO

La dosis empleada de Hipoclorito de Sodio es de 5 ppm, la capacidad de dosificación de 2.1176 kg/hr.

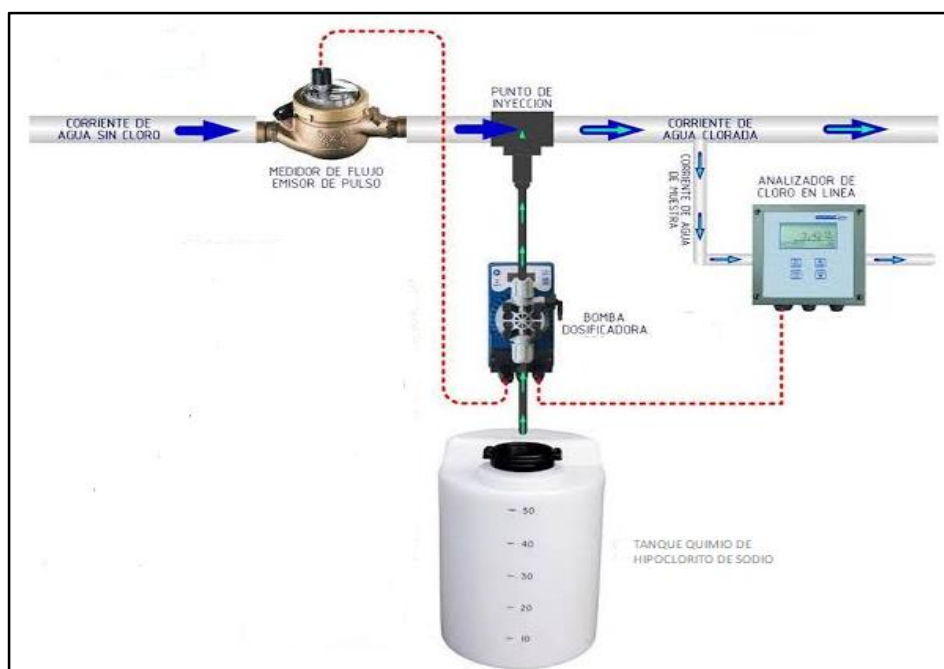


Figura 4.4. Esquema de Dosificación

4.2. DISTRIBUCIÓN DE PLANTA Y ESTRUCTURA

4.2.1. DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA

La distribución en planta implica la ordenación y racional de los equipos de producción de agua potable garantizando su flujo óptimo al más bajo costo. Esta ordenación ya instalada o en proyecto. Incluye tanto los espacios necesarios para el movimiento de material, almacenamiento, máquinas, equipos de trabajo y todas las otras actividades o servicios. El área total de la planta es de 82493.406 m³.

La distribución y ubicación de las diferentes áreas de la planta que se realizaron teniendo en consideración factores como: seguridad, expansión futura distribución económica de los servicios auxiliares y fácil acceso para la circulación de vehículos.

La distribución del área de procesos tiene un área total de 41,807.763 m³. El sistema MBR ocupa un área de 35,681.25 m³. La cámara ultravioleta y el equipo de ósmosis inversa ocupa un área de 782.4 m³.

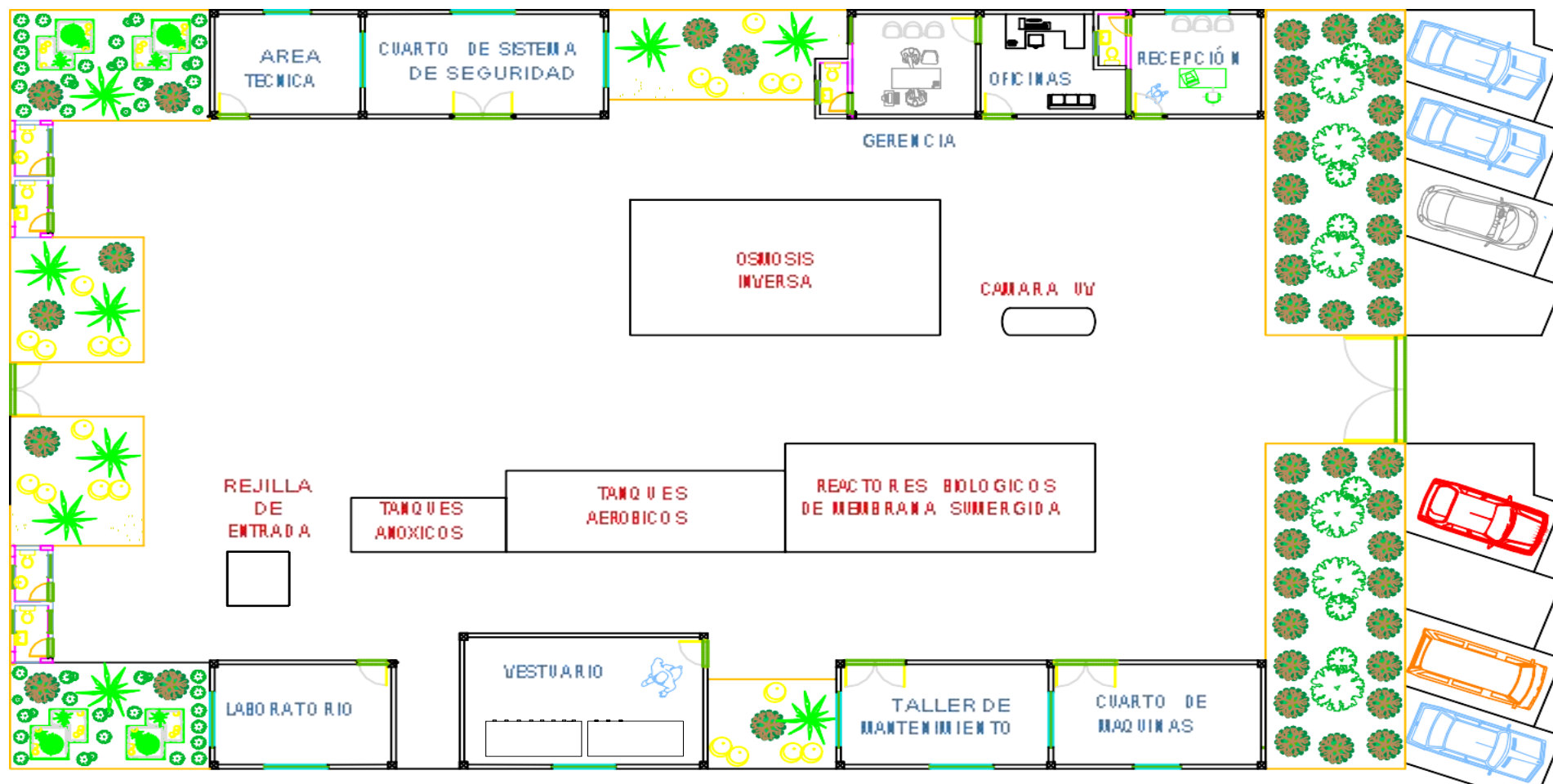
Al ingreso de la planta se mostrará el estacionamiento que ocupa un área de 1,944.75 m²., al frente de la planta se encuentran las oficinas, el área técnica y el cuarto de sistema de seguridad ocupando un área de 2,709.946 m², en la parte posterior se encuentra el laboratorio, los vestidores, el taller de mantenimiento y el cuarto de máquinas ocupan un área de 2,709.946 m².

4.2.2. ESTRUCTURAS Y EDIFICIOS

La planta de transformación de agua residual doméstica en agua potable se construye bajo un solo nivel y se construirá al aire libre y no en un ambiente cerrado para evitar la acumulación de malos olores por la concentración de los compuestos inorgánicos y orgánicos en el biorreactor, que a determinadas concentraciones pueden ser dañinos para la población.

Se hace uso de las estructuras cerradas con techos ligeros con ladrillos y su base de concreto; el cual está distribuida de la siguiente manera:

1. Recepción
2. Oficinas Generales
3. Gerencia y sala de reuniones
4. Cuarto de Sistema de Seguridad
5. Área Técnica
6. Servicios Higiénicos
7. Laboratorio de control de calidad
8. Vestuarios
9. Taller de mantenimiento
10. Cuarto de máquinas



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA E
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



PLANO MAESTRO

PROYECTO: Instalación de una Planta de Transformación de Agua Residual Doméstica en Agua Potable

DISEÑISTA: Rosa Porras Salazar

FECHA: 22/09/2019

ESCALA: 1/100

FIGURA N°: 4.5.

4.3. INSTALACIONES SANITARIAS

Las instalaciones sanitarias son el conjunto de tuberías, accesorios de diferentes diámetros y materiales que se encuentran dentro del límites de propiedad de la edificación, que están destinados a suministrar y alimentar la planta de tratamiento.

4.3.1. DISTRIBUCIÓN DE LA TUBERÍA

Las cargas transmitidas por las tuberías a los equipos conectados y los elementos de soporte incluyen peso, efectos incluidos por la temperatura, presión, vibraciones, viento, sismo. Para la distribución de las tuberías también se tiene en cuenta las reglas como los espacios libres entre ellas (3.28 pies/100 cm).

4.3.2. DIAMÉTRO, ESPESOR Y MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN

A. Sistema Hidráulico

Para calcular el diámetro de las tuberías necesarias para el proceso varias de ½” a 4” SCH 80 y 40.

El material utilizado es de alta presión, acero inoxidable 316 y 304, y PVC para la mayoría de las tuberías auxiliares.

B. Sistema Eléctrico

El material utilizado es de acero inoxidable y vulcanizado para la mayoría de los accesorios auxiliares.

4.3.3. ACCESORIOS Y VÁLVULAS

A. Sistema Hidráulico

Los cambios de dirección de los sistemas de tuberías; se requieren codos, tees, niples, uniones universales, uniones simples, reducciones, adaptadores, tapones, válvulas esféricas, válvulas check, válvulas solenoide, manómetros, flujómetros, etc.

B. Sistema Eléctrico

Los accesorios eléctricos que se requieren son cables, relays, pulsadores, pilotos de señalización, cajas de paso, presostatos, conductividad, etc.

CAPITULO V

CONSIDERACIONES AMBIENTALES

Los únicos efluentes de la futura planta de tratamiento de aguas residuales domésticas para obtención de agua potable son los residuos sólidos del tamiz para finos, los lodos en exceso del sistema MBR y los lodos que se separan del sistema de ósmosis inversa.

5.1. PARA LODOS DEL SISTEMA MBR

De estos lodos, el que requiere espesadores, como por ejemplo centrifugas o filtros prensa, son los lodos del sistema MBR. Una vez desaguados los lodos son enviados a silos de almacenamiento y mayor secado, para finalmente darle una disposición final como por ejemplo relleno de terrenos de cultivo.

5.2. PARA LODOS DEL EQUIPO ÓSMOSIS INVERSA

Para estos lodos podemos concentrar este rechazo hasta llegar a residuo seco. Para ello, se realiza un proyecto que incluye dos evaporadores:

Los evaporadores al vacío funcionan con una bomba de calor, desarrolladas horizontalmente y con una camisa externa que aporta calor, esta configuración permite llegar a un RESIDUO SECO.

También podemos realizar un biotratamiento del agua de rechazo con plantas adaptadas al medio y resistentes a altas salinidades, por otro lado, obtener alimento para ganado.

Existen varias especies de plantas que han sido utilizadas para el tratamiento de aguas residuales en distintas partes del mundo: *Azolla caroliniana*, *Canna edulis*, *Canna indica*, *Eichhornia crassipes*, *Ipomea aquatica*, *Lemna minor*, *Pistis stratoites*, *Phragmites australis*, *Typha angustifolia*, *Sagittaria falcata*, *Sagittaria montevidensis*, *Sciprus californicus* [Docampo, 2007].

Por tales motivos, se considera que el posible impacto ambiental que se tendría por la instalación de esta planta sería mínimo. Todo lo contrario, la reutilización de las aguas residuales domésticas, no solo aliviaría la futura escasez de agua, sino que también estaría disminuyendo el actual impacto que ocasiona estas aguas residuales debido a que conoce que la capacidad de la PTAR San José no abastece la capacidad requerida y por lo tanto un gran porcentaje de aguas residuales pasan sin tratamiento directamente a campos de cultivo o al mar. No se hace un mayor análisis de posible impacto ambiental porque en líneas generales, la instalación de esta planta traería más beneficios ambientales que perjuicios.

Económicamente, la alternativa que se presenta en este proyecto es mejor que la obtención de agua potable a partir de agua de mar por osmosis inversa. Por osmosis inversa del agua de mar el costo de producción con tecnologías avanzadas ha disminuido de 6 a 3 dólares el m³. Sin embargo, el costo del agua producida por la reutilización de aguas servidas alcanza un nivel de 1.6123 dólares el m³.

CAPITULO VI

EVALUACIÓN ECONÓMICA

Durante el capítulo, se realiza una descripción detallada del Balance Económico del proyecto, donde se evalúa la factibilidad económica del mismo.

La apreciación económica del proyecto obedece a la dinámica seguida por la mayoría de proyectos de Plantas de procesos agroindustriales. Se ha considerado dos aspectos importantes como la “Valoración de la inversión total y Valoración del costo total de producción”, por último, determinar la rentabilidad del proyecto.

Para las estimaciones se han usado los índices de Peters & Timmerhaus, indicados en el apéndice.

6.1. VALORACIÓN DE INVERSIÓN TOTAL

La inversión total es el capital necesario para la ejecución del proyecto y se estima en \$ 22 010 095 dólares.

La inversión total esta constituida por el capital fijo total que asciende \$ 21 918 259; y un capital de trabajo u operación estimada en \$ 93 420.

6.1.1. CAPITAL FIJO TOTAL

COSTO FIJO

El costo fijo es de \$ 21 918 259 y está formando por la suma de los costos directos y los costos indirectos de la planta:

❖ *COSTO DIRECTO O FÍSICO*

El costo directo es \$ 19 123 313 y está constituida por:

- A. Costo Total del equipo de proceso instalado.
- B. Costo Total del equipo auxiliar de proceso instalado.
- C. Costo Total de tuberías y accesorios.
- D. Costo Total de instrumentación.
- E. Costo de instalación eléctrica,
- F. Costo de edificios.
- G. Costo de terreno y mejoras.
- H. Costo de servicios.

❖ *COSTOS INDIRECTOS*

El costo indirecto es \$ 2 794 946 y está constituido por:

- I. Costo de ingeniería y supervisión.
- J. Costo de construcción.
- K. Costos de seguros e impuestos de la construcción.
- L. Costos de honorarios para contratistas.
- M. Costos imprevistos.

COSTOS DIRECTOS TOTALES

Es la suma del costo del equipo **COSTOS DIRECTOS TOTALES** de la planta, más los costos de instalación, control e instrumentación, tubería y accesorios, sistema eléctrico, edificios, mejora de terrenos, servicios. Alcanza un valor de \$ 19 123 313.

A. COSTO DE EQUIPO PRINCIPAL Y AUXILIAR DE PROCESO

La estimación de los costos FOB de los equipos principales y auxiliares de todo el proceso se realizó en base cotizaciones de vendedores del sistema MBR en el año 2006, y actualizado por capacidad y tiempo. Para actualizar en el tiempo se utilizó los índices de Costos de Plantas de Ingeniería Química (CEPCI).

El costo FOB del equipo principal y auxiliar a precios del 2018 asciende a \$ 14 281 787 dólares, y colocado en planta asciende a \$ 14 710 241 dólares. Con este último valor y utilizando los índices de Peter & Timmerhaus se obtiene los distintos valores para calcular la inversión total del proyecto.

Tabla 6.1. Costo de los equipos principales

EQUIPO	CANTIDAD	CUPP, \$
Sistema MBR	01	10 892 852
Osmosis Inversa	01	3 388 935
TOTAL		14 281 787

Fuente: Elaboración Propia

B. COSTO DE INSTALACIÓN DE TODOS LOS EQUIPOS

Por ser los equipos modulares se considera 8% del costo del equipo puesto en la planta, es decir: \$ 1 176 819.

C. TUBERÍAS Y ACCESORIOS

La estimación de costos se realiza teniendo en cuenta dimensiones y material de construcción, incluye el costo de compra y de instalación. Los módulos incluyen sus conexiones 5% del costo del equipo total. Llega a \$ 735 512.

Tabla 6.2. Costo total de tuberías y accesorios

ACCESORIOS	COSTO \$
Tubería recta	5 331.114
Codos	98.485
Tee	56.061
Uniones Universales	75
Adaptadores	56.818
Cable Vulcanizado	82 648.624
Otros	647 551.958
TOTAL	735 512

Fuente: Elaboración Propia

D. INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL

Este renglón ha sido estimado según los costos unitarios de los principales equipos a usar en automatización de la planta. Limpieza de membranas, reflujo de lodos, tienen su propio sistema de control. La planta es semi- automatizada. El costo es \$ 441 307.

E. INSTALACIONES ELÉCTRICAS

Se estima de acuerdo a las recomendaciones dadas por P & T, siendo el 3% del costo de compra total del equipo, se obtuvo un valor de \$ 441 307.

F. ESTRUCTURA DE LA PLANTA

El costo de estructuras incluye los costos de cimentación para el área de proceso a precios locales. Realmente el costo es mínimo puesto que en su mayoría son tanques que no presentan vibración. El costo asciende a \$ 441 307 dólares.

G. TERRENOS Y MEJORAS

El costo del terreno se ha estimado teniendo en cuenta el lugar y ubicación de la planta, comprende los costos de: preparación del terreno, asfaltado, veredas, sardineles y cercado de la planta. La planta será instalada en terrenos eriazos del centro poblado Ciudad de Dios. El costo considerado es de solo \$ 294 205.

H. SERVICIOS

Incluye los gastos de instalaciones de agua, vapor, aire comprimido. En este caso el gasto es mínimo debido a que hay servicios de vapor. Aire comprimido solo para los sistemas de control. El costo es de \$ 882 614.

Tabla 6.3. Costos Directos

DETALLE	COSTO \$
Costo de equipos en planta	14 710 241
Costos de instalación	1 176 819
Costo de instrumentación y control	441 307
Costo de tuberías y accesorios	735 512
Costo de sistema eléctrico	441 307
Costo de edificios	441 307
Costo de mejoras de terreno	294 205
Costo de servicios	882 614
TOTAL	19 123 313

Fuente: Elaboración Propia

COSTOS INDIRECTOS TOTALES

Es la suma de los costos de ingeniería y supervisión, gastos de construcción, seguros e impuestos, honorarios para contratistas y gastos imprevistos. Alcanza la suma de \$ 2 794 946.

I. INGENIERÍA Y SUPERVISIÓN

Por ser sistema modular, se considera el 6% del costo total de la planta puesta en Lambayeque. El valor asciende a \$ 882 614.

J. COSTO DE LA CONSTRUCCIÓN

Se considera 5% del costo total del todo el tiempo. Asciende a \$ 735 512.

K. COSTO DE SEGUROS E IMPUESTOS DE LA CONSTRUCCIÓN

Se considera solo el 2% del costo del todo el equipo. Asciende a \$ 294 205.

L. HONORARIOS PARA CONTRATISTAS

Este reglón considera el 3% del costo físico de la planta \$ 441 307.

M. IMPREVISTO

Se ha considerado \$ 441 307, con la finalidad de subsanar cualquier eventualidad que demande el gasto y que no haya considerado dentro del costo de construcción de la planta.

Se estima el 3% del costo total de la planta.

Tabla 6.4. Costos Indirectos

DETALLE	COSTO \$
Costos de ingeniería y supervisión	882 614
Costo de la construcción	735 512
Costos de seguros e impuestos a la construcción	294 205
Costo de honorarios para los contratistas	441 307
Costo de imprevistos	441 307
TOTAL	2 794 946

Fuente: Elaboración Propia

INVERSIÓN DE CAPITAL FIJO

Es la suma de los costos directos totales y los costos indirectos totales.

Llega a \$ 21 918 259.

6.1.2. CAPITAL DE PUESTA EN MARCHA O CAPITAL DE TRABAJO

Este renglón abarca los gastos efectuados para realizar pruebas y reajustes del equipo del proceso antes de la operación comercial de la planta. Como periodo de puesta en marcha se considera que no excederá una semana. Se calculo un capital de \$ 93 420.

Se considera que se va procesar en forma intermitente, 8000 horas al año:

- a) **Inventario de materia prima:** Se considera en mes de materia a los precios de puesto en planta. Alcanza la suma de \$ 476.
- b) **Inventario de materia en proceso:** Se considera un día de operación. En promedio es \$ 12 960.
- c) **Inventario de producto en almacén:** El producto se vende dentro de la misma planta, por ese motivo solo se considera costo para una semana de producción. El valor alcanzado es \$ 24 000.
- d) **Cuentas por cobrar:** Equivale a un mes de ventas. Pero por los motivos expuestos en el ítem anterior llega a \$ 30 400.
- e) **Disponibilidad en caja:** Sirve para pagar salarios, suministros e imprevisto. Se considera un mes de producción. Ascende a \$ 24 000.

Tabla 6.5. Capital de trabajo

DETALLE	COSTO \$
Inventario de materia prima	476
Inventario de materia en proceso	12 960
Inventario de producto en almacén	24 000
Cuentas por cobrar	30 400
Disponibilidad de cajas	24 000
TOTAL	91 836

Fuente: Elaboración Propia

∴ **LA INVERSIÓN TOTAL:** Es la suma de capital fijo más el capital de trabajo, y alcanza el valor de \$ 22 010 095.

Tabla 6.6. Plan Global de Inversión

1. ACTIVOS FIJOS			
1.1.Costos directos			
Costo de equipos en planta	\$ 14 710 241		
Costo de instalación	\$ 1 176 819		
Costo de instrumentación y control	\$ 441 307		
Costo de tuberías y accesorios	\$ 735 512		
Costo de sistema eléctrico	\$ 441 307	\$ 19 123 313	
Costo de edificios	\$ 441 307		
Costo de mejoras de terrenos	\$ 294 205		
Costo de servicio	\$ 882 614		
Total, costos directos			\$ 21 918 259
1.2.Costos Indirectos			
Costos de ingeniería y supervisión	\$ 882 614		
Costo de la construcción	\$ 735 512		
Costos de seguros e impuestos a la construcción	\$ 294 205		
Costo de honorarios para los contratistas	\$ 441 307	\$ 2 794 946	
Costo de imprevistos	\$ 441 307		
Total, costos indirectos			
2. CAPITAL DE TRABAJO			
Inventario de materia prima	\$ 476		
Inventario de materia prima en proceso	\$ 12 960		
Inventario de producto en almacén	\$ 24 000	\$ 91 836	
Cuentas por cobrar	\$ 30 400		
Disponibilidad de caja	\$ 24 000		
Total, capital de trabajo			
INVERSIÓN TOTAL DE PROYECTO			\$ 22 010 095

Fuente: Elaboración Propia

6.2. VALORACIÓN DEL COSTO DE PRODUCCIÓN

El costo total de fabricación está constituido por el costo de manufactura y los gastos generales. El costo total anual de \$ 1'277,782. El resumen de la estima del costo de producción y del costo unitario se muestra en la Tabla 6.12.

6.2.1. COSTO DE MANUFACTURA

Este renglón incluye:

- A. Costo directo de manufactura
- B. Costos indirectos
- C. Costos fijos
- D. Gastos Generales

Detallamos a continuación cada costo:

A. COSTO DIRECTO DE MANUFACTURA

Constituido por los costos de materia prima, mano de obra, supervisión, mantenimiento y reparación de la planta, suministros para las operaciones y servicios auxiliares. El costo asciende a \$ 1 379 626.

- MATERIA PRIMA

La materia prima utilizada para la producción de producto incluye los costos de los reactivos para limpieza de las membranas, tanto del sistema MBR como del sistema de ósmosis inversa. Para la capacidad diseñada el costo total asciende a \$ 17 788.

- **MANO DE OBRA**

La operación de la planta requiere de 15 obreros por turno, con trece sueldos por año. Este número de operarios ha sido estimado por el método Wessel, el cual se basa en el número de pasos principales del proceso, capacidad de producción y el grado de automatización. El costo de mano de obra por año asciende a \$ 292 500.

- **SUPERVISIÓN E INGENIERÍA**

En este renglón se considera todo el personal comprometido con la supervisión directa de las operaciones de producción de las distintas instalaciones, el costo de supervisión e ingeniería es de \$ 54 600.

- **MANTENIMIENTO Y REPARACIONES**

Están comprendidos los gastos que requieren para mantener la planta en óptimas condiciones de operación, y se estima como el 2% del capital fijo que es \$ 438 365.

- **AUXILIARES Y SERVICIOS**

Se considera los gastos por conceptos de lubricantes, pintura, materiales de limpieza, agua energía eléctrica, etc. para su estimación se ha considerado el 10% del costo anual de mantenimiento, cuyo costo es de \$ 43 837.

Suministros de operación: 10% del costo de mantenimiento o 0.5 al 1% de la inversión del capital fijo \$ 43 837.

Tabla 6.7. Costos Directos de Manufactura

DETALLE	COSTO \$
Costo de materia prima	17 788
Costo de insumos	502 588
Costo de mano de obra	292 500
Costo de supervisión e ingeniería	54 600
Costo de mantenimiento y reparación	438 365
Costo de auxiliares y servicios	43 837
Costo de suministros de operación	43 837
TOTAL	1 379 626

Fuente: Elaboración Propia

B. COSTOS INDIRECTOS DE FABRICACIÓN

Comprende los gastos de laboratorio, cargas a la plantilla y los gastos generales de la planta. Ascende a \$ 178 425.

- CARGAS A LA PLANILLA

Constituye todos los gastos por concepto de beneficios sociales. Se ha considerado como el 21% (\$ 61 425) de la suma de los Costos de mano de obra y supervisión.

- LABORATORIO

Comprende los costos de los ensayos de laboratorio para el control de las operaciones y el control de calidad del producto, así como también las remuneraciones por supervisión. Costo: 20% del costo de mano de obra. Ascende a \$ 58 500.

- **GASTOS GENERALES DE LA PLANTA**

Lo conforman gastos destinados a satisfacer servicios, tales como: asistencia médica, protección de la planta, limpieza, servicios recreacionales, etc. Se ha estimado como el 20% del costo de mano de obra. Ascende a \$ 58 500.

Tabla 6.8. Costos Indirectos de Manufactura

DETALLE	COSTO \$
Costos de planillas	61 425
Costo de laboratorio	58 500
Costos generales de planta	58 500
TOTAL	178 425

Fuente: Elaboración Propia

C. COSTOS FIJOS DE FABRICACIÓN

Los costos fijos son independientes del volumen de producción de la planta, están formados por la depreciación, impuestos y los seguros. El total asciende a \$ 2 849 374.

- **DEPRECIACIÓN**

El capital sujeto a depreciación es el capital fijo excluyendo el costo terreno. Para determinar se ha considerado el 10% del capital fijo \$ 2 191 826.

- **IMPUESTOS**

El pago de impuestos a la propiedad para zonas poco pobladas se considera el 2% del capital fijo total, \$ 438 365.

- **SEGUROS**

Se ha considerado el 1% del capital fijo total, \$ 219 183.

Tabla 6.9. Costos Fijos de Fabricación

DETALLE	COSTO \$
Depreciación	2 191 826
Impuestos	438 365
Seguros	219 183
TOTAL	2 849 374

Fuente: Elaboración Propia

D. GASTOS GENERALES (VAI)

Comprende los gastos realizados por concepto de: administración, ventas y distribución, investigación y desarrollo, \$ 236 030.

- **ADMINISTRACIÓN**

Comprende los gastos por derecho de salarios de funcionarios, contadores, secretarias, así como los gastos de gerencia de actividades administrativas. Se estima como el 10% del costo de la mano de obra, supervisión y mantenimiento. Ascende a \$ 78 937.

- **VENTAS**

Y se ha tomado como el 5% de las ventas totales, \$ 142 469.

- **INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO**

Este renglón encaminado a mejorar la calidad, proceso y en general para abaratar los costos de producción. Se estima como el 5% de la mano de obra, \$ 14 625.

Tabla 6.10. Costos de Gastos Generales

DETALLE	COSTO \$
Administración	78 937
Ventas	142 469
Investigación y desarrollo	14 625
TOTAL	236 030

Fuente: Elaboración Propia

COSTO TOTAL DE FABRICACIÓN

Es igual a la suma del costo de fabricación y los gastos generales (VAI). Ascende a \$ 4 643 455 dólares.

Tabla 6.11. Costo Total de Fabricación

DETALLE	COSTO \$
Costos Directos de Manufactura	1 379 626
Costos Indirectos de Manufactura	178 425
Costos Fijos de Manufactura	2 849 374
TOTAL	4 643 455

Fuente: Elaboración Propia

6.2.2. COSTO UNITARIO

La producción diaria 8640 m³, y trabajando 8000 horas por el año significa 2.88 millones de m³, por lo tanto, el costo unitario es de \$ 1,6123 dólares/m³.

Tabla 6.12. Costo de Manufactura y Costo Unitario

1. COSTOS DE MANUFACTURA		\$ 13'792,839
1.1.COSTOS DIRECTOS DE MANUFACTURA		
Costos de materia prima	\$ 17 788	
Costo de insumos	\$ 502 588	
Costo de mano de obra	\$ 292 500	
Costo de supervisión e ingeniería	\$ 54 600	
Costo de mantenimiento y reparación	\$ 438 365	\$ 1 379 626
Costo de auxiliares y servicios	\$ 43 837	
Costo de suministros de operación	\$ 43 837	
TOTAL, COSTOS DIRECTOS		
1.2.COSTOS INDIRECTOS DE MANUFACTURA		
Costos de planillas	\$ 2 191 826	
Costo de laboratorio	\$ 58 500	\$ 178 425
Costos generales de planta	\$ 58 500	
TOTAL, COSTOS INDIRECTOS		
1.3.COSTOS FIJOS DE MANUFACTURA		
Depreciación	\$ 2 191 826	
Impuestos	\$ 438 365	\$ 2 849 374
Seguros	\$ 219 183	
TOTAL, COSTOS FIJOS		
Administración	\$ 78 937	
Ventas	\$ 142 469	
Investigación y desarrollo	\$ 14 625	\$ 236 030
TOTAL, GASTOS GENERALES		
COSTO TOTAL DE MANUFACTURA		\$ 4 643 455
2. COSTO UNITARIO		
Producción: 33'336,000 litros/año		\$ 1,6123 / m ³

Fuente: Elaboración Propia

6.3. BALANCE ECONÓMICO Y RENTABILIDAD

En el análisis de la rentabilidad del proyecto se considera el precio de venta puesto en la fábrica de \$ 3,8/m³.

6.3.1. RETORNO SOBRE LA INVERSIÓN

- Antes de Impuestos

Se expresa como la relación porcentual entre las utilidades antes de impuestos y de inversión total. El retorno sobre la inversión antes de los impuestos obtenidos es de 15,37%. Este valor está por debajo de lo recomendado, pero hay que tener en cuenta que en este tipo de proyecto lo que más se busca es la rentabilidad social, es decir a que cantidad de población se puede resolver la escasez de agua.

- Después del Impuestos

Se expresa como la relación porcentual entre las utilidades después de impuestos y de inversión total. El retorno sobre la inversión después de impuestos obtenidos es de 6.07%. Por lo mismo, la rentabilidad es baja, pero su alta rentabilidad social lo hace factible (Ver Apéndice).

A. TIEMPO DE RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN

Es el tiempo expresado en años, en que se recupera la inversión de capital fijo, operando 8000 horas por año. El tiempo de repago antes de impuestos es de 2.5917 años y después de impuestos es de 3.1271 años.

B. PUNTO DE EQUILIBRIO

Es el nivel de producción, en el cual no se obtiene ni pérdidas ni ganancias. Según los cálculos realizados el punto de equilibrio es 34.12% de la capacidad total de la planta.

Tabla 6.13. Valores para calcular el punto de equilibrio

VARIABLES	COSTOS \$
Costo Total de Fabricación	4 643 455
Costos Fijos de Manufactura	2 849 374
Costos Variables	1 794 081
Gastos Generales	93 562
Ventas	142 469

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6.14. Estado de Pérdidas y Ganancias

ESTADO DE PERDIDAS Y GANANCIAS		
Producción anual		
Precio de venta por unidad		\$/m ³
Ingreso neto de ventas anuales		\$
Costo total de fabricación (producción)	4643455	\$
Utilidad Bruta	6300545	\$
Impuesto a la renta (30%)	1453972	\$
Utilidad Neta	4846573	\$
Ingreso neto de ventas anuales = Producción anual * Precio de venta unitario		
Utilidad Bruta = Ingreso Neto de Ventas Anuales – Costo Total de Fabricación		
Utilidad Neta = Utilidad Bruta – Impuesto a la Renta		

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6.15. Análisis Económico

VALORES CALCULADOS	VALOR	ACEPTABLE
a. Retorno sobre la Inversión antes del pago de impuestos.	15.37%	> 35%
b. Retorno sobre la Inversión después del pago de impuestos.	6.07%	>12%
c. Tiempo de recuperación del dinero antes de impuestos.	2.5917%	< 5 años
d. Tiempo de recuperación del dinero después de impuesto.	3.1271%	
e. Punto de equilibrio	34.12%	< 50%

Fuente: Elaboración Propia

CAPITULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. CONCLUSIONES

- ✓ Se determinó que el mejor sistema es el MBR con membrana sumergida debido que es más eficiente y consume menos energía.
- ✓ El sistema MBR elimina el carbono, nitrógeno y fósforo.
- ✓ La capacidad de agua residual doméstica de ingreso es de 428.75 m³/hr y después del tratamiento su caudal es de 360 m³/hr.
- ✓ Se obtiene un DBO < 5 ppm.
- ✓ La planta estará ubicada en la carretera San José, a 10 km del centro Poblado Ciudad de Dios.

7.2. RECOMENDACIONES

- ❖ Realizar una comparación del tratamiento de aguas residuales empleando el método de MBR con membranas externas.
- ❖ Seguir el esquema de tratamiento propuesto en este proyecto, para asegurar un agua cumpla con los estándares proporcionados por el Reglamento de la Calidad de Agua para Consumo Humano (DS N° 031-2010 S.A.).
- ❖ Se debe educar a las comunidades, empleando esquemas educativos acerca del adecuado uso de las aguas residuales.
- ❖ Realizar una investigación profunda sobre posibles usos de las aguas residuales domésticas tratadas con la tecnología MBR, para la creación futura de una normativa que ordene la reutilización del recurso hídrico en los campos que aplique, conservando así este valioso recurso natural indispensable en para nuestra vida.

BIBLIOGRAFÍA

- **Brepols, C., Verrecht, B., Nopens, L., Judd, S. 2010.** The cost of a large-scale hollow fibre MBR. Water Res., 44 (18), 5274-83.
- **Chávez, R. 2008.** Generación de Electricidad a partir de las Aguas Residuales de Chiclayo. Tesis de pregrado. Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo.
- **Cho, R. 2011.** From Wasterwater to drinking water. State of the Planet, Earth Institute, Columbia University. April 4, 2011.
- **DIGESA, 2011.** Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N° 031-2010-S.A. Lima, Perú. Ministerio de Salud.
- **EPSEL. 2019.** Sistema de Abastecimiento de Agua Potable para Chiclayo. Recuperado de: <http://www.epsel.com.pe/Portal/servicio-del-agua>.
- **FAO, 2013.** Food and Agriculture Organization OF The United Nations. Review of World water Resources by Conuntry, Water Report. ISSN 1020-1203. ISBN 92-5-104899-1.
- **Flaw System Pty Lta. 2016.** Sewage Magement Plan. FS-WAT-AUS-PL-1328-3.
- **Gross, D. 2016.** Recycling sewage into drinking water is no big deal. They've been doing it in Namibia for 50 year, PRI's The World December 15, 2016. <http://www.pri.org/stories/2016-12-15/recycling-drinking-water-no-big-deal-theve-been-doing-it-namibia-50-years>.
- **INEI. 2018.** Perú: Formas de Acceso al Agua y Saneamiento Básico.
- **Lopetegui, J., Zabala, A., y De la Parra, M. 2005.** CHR-Hansen: tecnología MBR aplicada al tratamiento de aguas complejas. Elevadas Concentraciones de DQO, nitrógeno y Fósforo. Tecnología del Agua, Año 25 (257), 62-67.

- **Luque, A. 1992.** Chiclayo, Proyecto de Emergencia, Mejoramiento de los Servicios de Agua Potable. Tesis de pregrado. Universidad Nacional de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Sanitaria. Lima.
- **Verrech, M., Pham, B., y Nopens, J., 2009.** Building a benchmark simulation model to compare control strategies for membrane biorreactor: BSM-MBR, Fifth IWA specialised membrane technology conference for water and wastewater treatment, 01-03 Sept 2009, Beijing China.
- **Ministerio de Vivienda, Contrucción y Saneamiento. 2011.** Sistema Nacional de Estánderes de Urbanismo Propuesta Preliminar. Capitulo III: Normalización de infraestructura urbana y propuesta de estándares.
- **Miquel, A. 2016.** Reuso de las Aguas Servidas en Singapur. La experiencia de Sembcorp. Sembcorp Industries.
- **Municipalidad Provincial de Chiclayo. 2012.** Cobertura de Agua Potable Diagnostico.
- **OMS/UNICEF. 2016,** Guidelines for drinking water quality – fourth edition. Printed in Malta by Gutenberg.
- **OTASS. 2015.** Entidad Prestadora de Servicios de Saneamiento de Lambayeque – EPSEL. Informe final de evaluación 2012 – 2014. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
- **Perú 21. 29/11/2014.** Costa peruana perderá el 40% de agua por cambio climático.
- **PROINVERSION. 2017.** Ampliación, Mejoramiento de la planta de tratamiento de agua potable EPSEL PTAP N° 2 distrito Chiclayo, provincia Chiclayo – Lambayeque. Código SNP 379819. Recuperado, marzo 2019: http://www.proinversion.gob.pe/snip/consulta_snip.asp?codigo=379819.

- **SUNASS. 2018.** Estudio Tarifario. Entidad Prestadora de Servicios de Saneamiento de Lambayeque S.A. (EPSEL S.A.). Gerencia de Regulación Tarifaria.
- **Tchobanoglous, G., Burton F., y Stensel, H. 2004.** Wastewater engineering: treatment and reuse. McGraw-Hill, Boston, pp. 854-865.
- **Torres, G. 2015.** Aguas tratadas: Comunidad Campesina de San José – Chiclayo. Gestión eficiente del Agua y sostenibilidad humana y de los ecosistemas. Solidaridad – Centro de Estudios Sociales. Chiclayo.
- **UNESCO. 2016.** Division of Water Sciences: United Nations World Water Assessment Program.
- **Van Beeelen, S. 2007.** Municipal Waste Water Treatment Plant (WWTP) – A Concise Overview of the Occurrence of Organic Substances RIWA (Rhine Water Works the Netherlands).
- **Veolia Water, 2006.** BIOSEP, biorreactor de membranas sumergidas. Recuperado de: <http://www.veoliawatertwchnologies.es/vwst-iberica/files/1/7516.BIOSEP.pdf>
- **Woo, M. 2016.** Why we all need to start drinking toilet water. BBC New. 6 January 2016. www.bbc.com/future/story/20160105-why-we-will-all-one-day-drink-recycled-wastewater.
- **Zaerpour, M. 2014.** Design Cost & Benefit Analysis of Membrane Bioreactor Thesis maestría. Politecnico di Milano, Department of Environmental and Geomatic Engineering.
- **Cesar Giovanni – 2017-3.** Tesis Análisis del uso de biorreactores de membrana para tratamiento de aguas residuales y posible implementación en Colombia.
- http://aula.aguapedia.org/pluginfile.php/1333/mod_resource/content/0/mapi.pinedo.PFC.pdf

- <http://www.cgliberica.com/rechazo-de-osmosis-inversa-el-gran-ignorado-n-29-es>
- <http://dspace.itcolima.edu.mx/bitstream/handle/123456789/635/evaluacion%20de%20de%20las%20alternativas%20de%20agua%20de%20rechaso.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

APENDICE

1. DISEÑO DEL SISTEMA DE REACTOR DE MEMBRANA (MBR-Membrane Biorreactor) Y BALANCE DE MASA RESPECTIVO

1.1. Flujo de aire de lavado por área de membrana (SAD_m)

Es necesario airear la unidad de membrana para separar continuamente los sólidos.

Este valor es recomendado por los fabricantes:

$$SAD_m = \frac{Q_A}{A_m}$$

Donde:

Q_A = Flujo de aire a la membrana m^3/hr en condiciones normales

A_m = Área de la membrana

SAD_m = Demanda de aire específico por área de membrana, está en el rango de $0.18 - 0.60 \text{ m}^3 \text{ aire/m}^2$ de área de membrana. Según los fabricantes de membranas Kubota 515 RW y Zenon, ZW500D, se recomienda un SAD_m de $0.29 \text{ Nm}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$.

$$SAD_m = \frac{m^3}{m^2 \cdot hr}$$

Demanda de aire específico por volumen de permeado (SAD_p) (m^3 de aire/ m^3 de permeado)

$$SAD_p = \frac{SAD_m}{J}$$

Donde:

**J = Flujo recomendado de permeado por unidad de área de membrana
(Kubota)**

$$J = 12 \frac{L}{m^2 \cdot hr}$$

$$SAD_p = 24.167 \frac{m^3}{m^3}$$

1.2. Área requerida según fabricante Kubota 515 Panel RW

$$Am = \frac{Q}{J}$$

Donde:

Am = Área total (m²)

Q = Flujo de aire de lavado por área de membrana

$$Q = 428.175 \frac{m^3}{hr}$$

$$Am = 35681.25m^3$$

Número de paneles requeridos

$$Nm = \frac{Am}{Au}$$

Donde:

Au = Área total por unidad de un Panel RW del fabricante Kubota

$$Au = 580m^2$$

$$Nm = 61.519$$

$$Nm = 62$$

1.3. Determinando capacidad requerida de aire de limpieza de membrana:

$$Mo = Q. (S - Se) - 1.42. MXbio + 4.33. Q. NOx - 2.86. Q. (NOx - NOe)$$

Donde:

Mo = Requerimiento de oxígeno para el tratamiento biológico

Mm = Oxígeno transferido para aireación y limpieza de la membrana

S = Sólidos disueltos totales biodegradables

$$S = 245.3 \frac{gm}{m^3}$$

Se = Sólidos disueltos totales no biodegradables

$$Se = 1.5 \frac{gm}{m^3}$$

MXbio = Sólidos disueltos volátiles, SVV, El 20.00% de los sólidos totales son volátiles.

$$MXbio = 0.20. S. Q$$

$$MXbio = 21.006 \frac{kg}{hr}$$

NOx = Contenido de nitratos en la entrada

$$NOx = 15.14 \frac{gm}{m^3}$$

Noe = Contenido de nitritos en la entrada

$$NOe = 6.06 \frac{gm}{m^3}$$

Determinando capacidad requerida de aire de limpieza de membrana:

$$Mo = 91.511 \frac{kg}{hr}$$

Flujo total de aire requerido (QA, m³/hr)

$$QA = SAD_m \cdot Nm \cdot Au$$

$$QA = 10428.4 \frac{m^3}{hr}$$

1.4. Flujo másico de aire para ser usado en la limpieza de membranas (Mm, kg/hr)

$$Mm = QA \cdot \rho A \cdot SOTEm \cdot ym \cdot OAm \cdot \alpha m \cdot \beta m \cdot \varphi m$$

Donde:

ρA = Densidad del aire

$$\rho A = 1.2 \frac{kg}{m^3}$$

SOTEm = Eficiencia de transferencia de oxígeno, %m (para burbujas gruesas limpieza de membranas)

$$SOTEm = 0.02m^{-1}$$

ym = Profundidad del aireador (para burbujas gruesas limpieza de membranas)

$$ym = 2.3m$$

OAm = % de oxígeno en masa en el aire

$$OAm = 23.2\%$$

αm = Corrección de transferencia de masa, para sólido

$$\alpha m = 0.43$$

βm = Corrección de transferencia de masa, para salinidad

$$\beta m = 0.95$$

ϕm = Corrección de transferencia de masa, para temperatura

$$\phi m = 0.83$$

Flujo másico de aire para ser usado en la limpieza de membranas

$$Mm = 45.281 \frac{kg}{hr}$$

1.5. Flujo de aire requerido para la aireación biológica, Q_b

$$Q_b = \frac{M_o - M_m}{\rho A \cdot SOTE_b \cdot y_b \cdot OAm \cdot \alpha_b \cdot \beta_b \cdot \phi_b}$$

Donde:

SOTE_b = Eficiencia de transferencia de oxígeno, %m (para burbujas finas tratamiento biológico)

$$SOTE_b = 0.05m^{-1}$$

y_b = Profundidad del aireador (para burbujas finas en el tratamiento biológico)

$$y_b = 5m$$

OAm = % de oxígeno en masa en el aire

$$OAm = 23.2\%$$

α_b = Corrección de transferencia de masa, para sólido

$$\alpha_b = 0.51$$

β_b = Corrección de transferencia de masa, para salinidad

$$\beta_b = 0.95$$

ϕ_b = Corrección de transferencia de masa, para temperatura

$$\phi_b = 0.83$$

Flujo de aire requerido para aireación biológica

$$Qb = 1651.731 \frac{m^3}{hr}$$

1.6. Volumen de tanque mínimo para las membranas (Vm)

$$Vm = \frac{Am}{\phi tank}$$

Donde:

$\phi tank$ = Densidad de sistema MBR con membrana Kubota (515 Panel RW)

$$\phi tank = 115m^{-1}$$

Volumen de tanque mínimo para las membranas

$$Vm = 310.272m^3$$

1.7. Determinación del tanque de retención de sólidos (SRT) aeróbico, teórico y de diseño

Desde las cinéticas de oxidación de amoníaco son limitantes de la velocidad en comparación con las cinéticas de oxidación de nitritos en los sistemas de nitrificación operados a temperaturas por debajo de 28°C, los diseños se basan en cinéticas de saturación para la oxidación de amoníaco como se indica a continuación, asumiendo que has un exceso de oxígeno disuelto (OD) disponible.

Velocidad específica de crecimiento de bacterias nitrificantes, gr células nuevas/gr células por día.

$$\mu n = \left(\frac{\mu_{nm} \cdot N}{K_n + N} \right) \cdot \left(\frac{DO}{K_o + DO} \right) - k_{dn}$$

Donde:

μ_{nm} = Velocidad máxima de crecimiento específico de las bacterias nitrificantes, gr células nuevas/gr células por día

$$\mu_{nm} = \left(0.45 \frac{gm}{gm \cdot day} \right) \cdot (1.07)^{12-30}$$

$$\mu_{nm} = 0.2619 \frac{gm}{gm \cdot day}$$

K_n = Constante de velocidad media, concentración del sustrato a la mitad de la velocidad máxima de utilización de sustrato

$$K_n = \left(0.4 \frac{gm}{m^3} \right) \cdot (1.053)^{12-30}$$

$$K_n = 0.2646 \frac{gm}{m^3}$$

K_{dn} = Coeficiente de descomposición endógeno para los organismos nitrificantes

$$K_{dn} = \left(0.08 \frac{gm}{gm \cdot day} \right) \cdot (1.04)^{12-30}$$

$$K_{dn} = 0.058 \frac{gm}{gm \cdot day}$$

N = Concentración de nitrógeno, gr/m³

$$N = 1 \frac{gm}{m^3}$$

DO = Concentración de oxígeno disuelto, gr/m³

$$DO = 1.5 \frac{gm}{m^3}$$

Ko = Coeficiente de saturación media para DO, gr/m³

$$Ko = 0.5 \frac{gm}{m^3}$$

Velocidad específica de crecimiento de bacterias nitrificantes, gr células nuevas/gr células por día

$$\mu n = 0.097 \frac{gm}{gm.day}$$

Tiempo de retención de sólidos, teórico (SRTt)

$$SRTt = \frac{1}{\mu n}$$

$$SRTt = 10.323day$$

Pico de nitrógeno Kjeldahl (nitrógeno orgánico y el nitrógeno amónico) (TKNp)

$$TKNp = 12 \frac{gm}{m^3}$$

Promedio de nitrógeno Kjeldahl

$$TKNm = 8 \frac{gm}{m^3}$$

$$FS = \frac{TKNp}{TKNm}$$

$$FS = 1.5$$

Tiempo de retención de sólidos, de diseño

$$SRTd = FS \cdot SRTt$$

$$SRTd = 15.485 \text{ day}$$

1.8. Cálculo de Producción de Biomasa

Los cálculos se basan en la siguiente ecuación de balance de masa

$$Pxvss = \underbrace{\frac{Q \cdot Y \cdot (S_o - S)}{1 + K_d \cdot SRT}}_A + \underbrace{\frac{f_d \cdot K_d \cdot Q \cdot Y \cdot (S_o - S) \cdot SRT}{1 + K_d \cdot SRT}}_B + \underbrace{\frac{Q \cdot Y_n \cdot NO_x}{1 + K_d \cdot SRT}}_C + \underbrace{Q \cdot nbVSS}_D$$

A
Biomasa
Heterotrófica

B
Desechos
Celulares

C
Biomasa de
bacterias
nitrificantes

D
VSS no
biodegradable
en la entrada

Donde:

So = Concentración de sustrato en el influente

$$S_o = 245.3 \frac{gm}{m^3}$$

S = Concentración de sustrato en el efluente

$$S = 0.9 \frac{gm}{m^3}$$

Y = Rendimiento de biomasa por bacterias heterotróficas

$$Y = 0.4$$

K_d = Coeficiente de descomposición endógeno

$$K_d = 0.088 \text{ day}^{-1}$$

$$A = \frac{Q \cdot Y \cdot (S_o - S)}{1 + K_d \cdot SRTd}$$

$$A = 425.2 \frac{kg}{day}$$

f_d = Fracción de la biomasa que permanece como restos celulares

$$f_d = 0.15$$

$$B = \frac{f_d \cdot K_d \cdot Q \cdot Y \cdot (S_o - S) \cdot SRTd}{1 + K_d \cdot SRTd}$$

$$B = 86.91 \frac{kg}{day}$$

Y_n = Rendimiento de biomasa para bacterias nitrificantes

$$Y_n = 0.26$$

NO_x = Concentración de NH₄-N en el flujo de entrada que es nitrificado

$$NO_x = 19.04 \frac{gm}{m^3}$$

$$C = \frac{Q \cdot Y_n \cdot NO_x}{1 + K_d \cdot SRTd}$$

$$C = 26.702 \frac{gm}{day}$$

nbVSS = Concentración de sólidos suspendidos volátiles no biodegradables en el influente

$$nbVSS = 0.003 \frac{kg}{m^3}$$

$$D = Q \cdot nbVSS$$

$$D = 30.829 \frac{kg}{day}$$

P_{xvss} = Residuos netos de lodos activados producidos, Kg VSS/día

$$P_{xvss} = A + B + C + D$$

$$P_{xvss} = 569.641 \frac{kg}{day}$$

$$P_{xbio} = A + B + C$$

$$P_{xbio} = 538.812 \frac{kg}{day}$$

TSS = Contenido de sólidos suspendidos totales

$$TSS = 91.5 \frac{gm}{m^3}$$

fVSS = Fracción VSS de biomasa total

$$fVSS = 0.80$$

fISS = Fracción de materia inorgánica de los sólidos suspendidos

$$fISS = 1 - fVSS$$

$$PX_{tss} = \frac{A + B + C}{fVSS} + D + Q.TSS.fISS$$

Producción de Biomasa

$$PX_{tss} = 892.398 \frac{kg}{day}$$

1.9. Determinación del volumen aerobio

$$Vaer = \frac{nMLSS}{Xaer}$$

Masa total de sólidos suspendidos volátiles

$$nMLVSS = Pxvss.SRTd$$

$$nMLVSS = 8820.722 \text{ kg}$$

Masa total de sólidos suspendidos

$$mMLSS = PX_{tss} \cdot SRTd$$

$$mMLSS = 13818.527 \text{ kg}$$

Volumen Aerobio

$$Vaer = 1727.316 \text{ m}^3$$

2. DENITRIFICACIÓN

2.1. Determinar ratio de recirculación

NO_x = Concentración de $NH_4\text{-H}$ en el flujo de entrada que es nitrificado

$$NO_x = 19.04 \frac{gm}{m^3}$$

NO_e = Concentración de $NH_4\text{-H}$ en el efluente

$$NO_e = 4.55 \frac{gm}{m^3}$$

$$R_{int} = \frac{NO_x}{NO_e} - 1$$

$$R_{int} = 3.185$$

2.2. Cálculo de la fracción de biomasa activa en la zona anóxica

$$Xb = \left(\frac{Q \cdot SRTd}{V} \right) \cdot \left(\frac{Y \cdot (S_o - S)}{1 + K_d \cdot SRTd} \right) \cdot \left(\frac{Rint}{Rint + 1} \right)$$

$$Xb = 2900.856 \frac{gm}{m^3}$$

2.3. Cálculo de la carga de nitrato a la zona anóxica

$$NO_{anox} = Q \cdot Rint \cdot NO_x$$

$$NO_{anox} = 623.098 \frac{kg}{day}$$

2.4. Escoger HRT anóxico y determinación de ratio F/Mb y fracción de bCOD

Valor estimado, tiempo de retención

$$r = 3 \text{ hr}$$

$$V_{anox} = r \cdot Q$$

$$V_{anox} = 1284.525 \text{ m}^3$$

$$ratio_{FMb} = 0.676 \frac{m^3}{m^3 \cdot day}$$

Demanda química de oxígeno fácilmente biodegradable

$$bCOD = S_o$$

$$rbCOD = 20.3 \frac{gm}{m^3}$$

Fracción de demanda química de oxígeno fácilmente biodegradable

$$FrbCOD = \frac{bCOD}{rbCOD} \cdot 100$$

$$FrbCOD = 8.276$$

Velocidad de denitrificación específica, gr NO₃-N/gr MLVSS.día, valor a 20°C

$$SDNRb = 0.21 \frac{gm}{gm.day}$$

SDNR corregido a 12°C

$$SDNR12 = SDNRb \cdot 1.026^{12-30}$$

$$SDNR12 = 0.171 \frac{gm}{gm.day}$$

$$MLVSS = 2908.02 \frac{gm}{m^3}$$

$$NOanoxC = 2908.02 \frac{gm}{m^3}$$

Coincide con el valor NOanox calculado previamente (623.098 kg/día), por lo tanto = 3 horas, es un buen estimado

$$NOanoxC = 638.823 \frac{kg}{day}$$

SRT, HRT y ratio F/M están interconectados. SRT más grande significa directamente HRT más grande y ratio F/M más bajo para un sistema con volumen de reactor fijo. Si el volumen del reactor aumenta mientras MLSS es constante, tanto SRT y HRT aumentan y ratio F/M disminuye.

Cálculo del SRT total, HRT y volumen total del proceso

Concentración de MLSS zona aeróbica

$$X_{aer} = 8000 \frac{gm}{m^3}$$

Concentración de MLSS zona anóxica

$$X_{aox} = 2908.02 \frac{gm}{m^3}$$

$$Q_w = 1.085\% \cdot Q$$

$$Q_w = 4.646 \frac{m^3}{hr}$$

$$\theta_{xprocess} = \frac{V_{aer} \cdot X_{aer} + V_{aox} \cdot X_{aox}}{Q_w \cdot X_{aer}}$$

Valor aceptable para este tipo de proceso

$$\theta_{xprocess} = 19.68 \text{ day}$$

$$V_{total} = V_{aox} + V_{aer}$$

$$V_{aox} = 1284.525 \text{ m}^3$$

$$V_{aer} = 1727.316 \text{ m}^3$$

$$V_{total} = 3011.841 \text{ m}^3$$

$$Q_{efl} = Q - Q_w$$

Caudal de agua obtenida después de MBR

$$Q_{efl} = 423.529 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}}$$

3. DETERMINACIÓN DEL PERMEADO EN LA OSMOSIS INVERSA

Según Tabla 1.4. la conductividad más alta alcanzada en un periodo fue de 1345 $\mu\text{S}/\text{cm}$, por lo tanto, se considera una eficiencia de 85%.

$$Q_{perm} = 0.85 \cdot Q_{efl}$$

$$Q_{perm} = 360 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}}$$

$$Q_{rech} = Q_{efl} - Q_{perm}$$

$$Q_{rech} = Q_{efl} - Q_{perm}$$

$$Q_{rech} = 63.529 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}}$$

CONSUMO DE ENERGÍA

Los consumos porcentuales para el sistema MBR son (Zaerpour, 2014):

- Aireación para el bioproceso: 42%
- Aireación para limpieza de membranas: 34%
- Bombeo de los reciclos de lodos activados (RAS): 10%
- Bombeo de agua permeada: 4%
- Mezclado anóxico: 9%
- Otros: 1%

Consumo específico para aireación: 0.025 kWh/Nm^3

Flujo másico de aire para membrana: 45.281 kg/hr

Flujo molar aire membrana: $45.281/28.97 = 1.56 \text{ kmol/hr}$

Flujo volumétrico a condiciones normales: $1.56 \times 22.4 = 35.02 \text{ m}^3/\text{hr}$

Flujo volumétrico aire reactor biológico: $104284 \text{ m}^3/\text{hr}$

Total, aire requerido: $10428.4 + 35.08 = 10463.48 \text{ m}^3/\text{hr}$

Potencia instalada para aireación: $10463.48 \times 0.025 = 261.58 \text{ kW}$

Se considera 300 kW

Potencia instalada para bobeo RAS: $300 (10/76) = 39.47 \text{ kW}$

Se considera 50 kW

Potencia instalada para bombeo permeado: $300 (4/76) = 15.78 \text{ kW}$

Se considera 20 kW

Potencia instalada para mezclado anóxico: $300 (9/76) = 35.52 \text{ kW}$

Se considera 40 kW

Potencia para misceláneos: $300 (1/76) = 3.947 \text{ kW}$

Se considera 5 KW

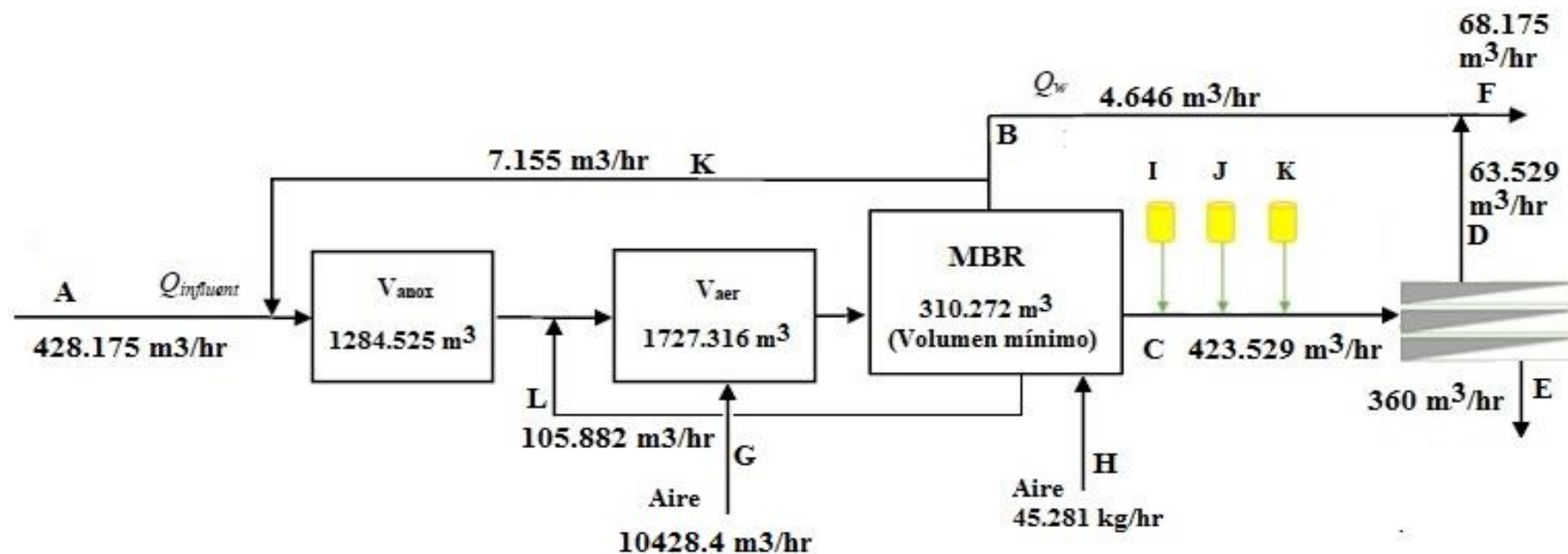
Consumo de energía para la osmosis inversa

Consumo específico: $< 0.75 \text{ kWh}$ para 1 m^3 de agua potable

Para el estimado se va a considerar 0.25 kWh/m^3

Potencia instalada: $0.25 \times 360 = 90 \text{ kW}$

Balance de Masa para el Proceso NEWater Modificado



Se presenta aparte los flujos de los aditivos que se adicionan a la corriente C antes y después a los equipos de osmosis inversa.

Corriente I: Metabisulfito de sodio, 10 ppm, equivale a 4.2353 kg/hr

Corriente J: Hipoclorito de sodio, 5 ppm, equivale a 2.1176 kg/hr

Corriente K: Anti-incrustante, 5 ppm, equivale a 2.1176 kg/hr

DISEÑO Y SELECCIÓN DE EQUIPOS PRINCIPALES DEL PROCESO

1) Tamiz de escalera para finos

✓ Caudal salida: 428.75 m³/hr

Según la Tabla 1.4. la máxima cantidad de sólidos sedimentales en un periodo fue 4.45 mL/L. Considerando 0.5% (v/v) de partículas mayores que 2 mm.

✓ Caudal de entrada: $428.75/0.995 = 430.9$ m³/hr

Según fabricante Agua Técnica

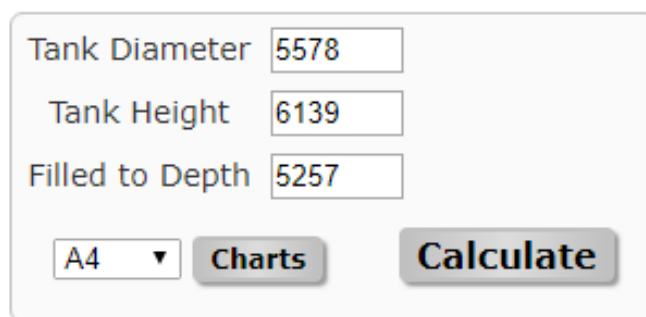
<https://www.aguatecnica.es/index.php/servicios/equipos-mecanicos-para-el-pre-tratamiento-de-aguas/tamices-para-instalar-en-canal>

TIPO A – PROFUNDIDAD DEL CANAL: 700 mm						
LUZ DE MALLA 2 mm						
ANCHURA DEL CANAL W [mm]		800	900	1000	1100	1200
ALTURA LAMINA DE AGUA H [mm]	200	68,4	79,2	90,0	99,0	109,8
	300	109,8	126,0	140,4	154,8	167,4
	400	234,0	266,4	300,6	333,0	368,2
	500	345,6	396,0	444,6	493,2	541,8
LUZ DE MALLA 4 mm						
ALTURA LAMINA DE AGUA H [mm]	200	91,2	105,6	120,0	132,0	144,0
	300	138,0	156,0	174,0	192,0	210,0
	400	344,4	393,6	442,2	492,0	540,8
	500	541,2	615,6	690,0	762,0	834,0
LUZ DE MALLA 6 mm						
ALTURA LAMINA DE AGUA H [mm]	200	100,8	115,2	129,6	144,0	158,4
	300	162,0	180,0	198,0	216,0	234,0
	400	378,0	432,0	486,0	540,0	594,0
	500	615,6	694,8	774,0	846,0	918,0

Para una malla de 2 mm se considera el modelo OZ-500, tipo A, que tiene una profundidad de canal de 700 mm y una capacidad nominal de 493.2 m³/hr, que corresponde a un sobrediseño de 14.46% lo cual se considera aceptable.

2) Tanques Anóxicos del sistema MBR

- ✓ Volumen total de trabajo: 1284.525 m^3
- ✓ Volumen de tanque: 20% adicional (se considera espacio para agitador)
 $1284.525 \times 1.2 = 1541.43 \text{ m}^3$
- ✓ Número de tanques: 10
- ✓ Volumen por tanque: $1541.43/10 = 154.14 \text{ m}^3$
- ✓ Se considera tanque de 150 m^3 , con volumen de trabajo de 128.45 m^3
- ✓ Dimensiones: <https://www.blocklayer.com/tanks/vertical.aspx>



Total Fill = **150018.4** ltrs

Filled to 5257 = **128465.02** ltrs

3) Tanques Aeróbicos del sistema MBR

- ✓ Volumen total de trabajo: 1727.316 m^3
- ✓ Volumen de tanque: 30% adicional (se considera espacio para sistema de aireación y el aumento de volumen por aire ingresado)
 $1727.316 \times 1.3 = 2245.5 \text{ m}^3$
- ✓ Número de tanques: 12
- ✓ Volumen por tanque: $2245.5/12 = 187.12 \text{ m}^3$
- ✓ Se considera tanque de 190 m^3 , con volumen de trabajo de 172.73 m^3
- ✓ Altura máxima recomendada: 5 m
- ✓ Relación diámetro/altura: 1.2

- ✓ Dimensiones: <https://www.blocklayer.com/tanks/vertical.aspx>

Tank Diameter 6635
Tank Height 5495
Filled to Depth 5000
A4 Charts Calculate
Total Fill = 189993.8 ltrs
Filled to 5000 = 172878.8 ltrs

4) Biorreactores con membranas sumergidas

- ✓ Volumen mínimo de tanque para membrana: 310.272 m^3

Se va considerar un 10% adicional

- ✓ Volumen definitivo de tanque para membranas:

$$310.272 \times 1.10 = 340 \text{ m}^3$$

Considerando 4 tanques para dar flexibilidad al proceso (Brepols et al, 2010)

- ✓ Volumen de cada tanque: $340/4 = 85 \text{ m}^3$
✓ Total, de paneles necesarios: 62
✓ Paneles para cada biorreactor: $62/4 = 15.5$

Se considera 16 paneles

- ✓ Dimensiones del tanque:

Tipo de membrana seleccionada: Fabricante Kubota, modelo RW 400 que tiene 580 m^2 de área por membrana (según esta área se realizó los cálculos).

Las dimensiones nominales de cada panel RW 400.

- Largo: 2925 mm
- Ancho: 575 mm
- Altura: 4290 mm

✓ Corrección de volumen de cada tanque:

- Volumen teórico ocupado por 16 paneles:

$$(16 \times 0.575) \times 2.925 \times 4.290$$

$$9.2 \times 2.925 \times 4.290 = 115.44 \text{ m}^3$$

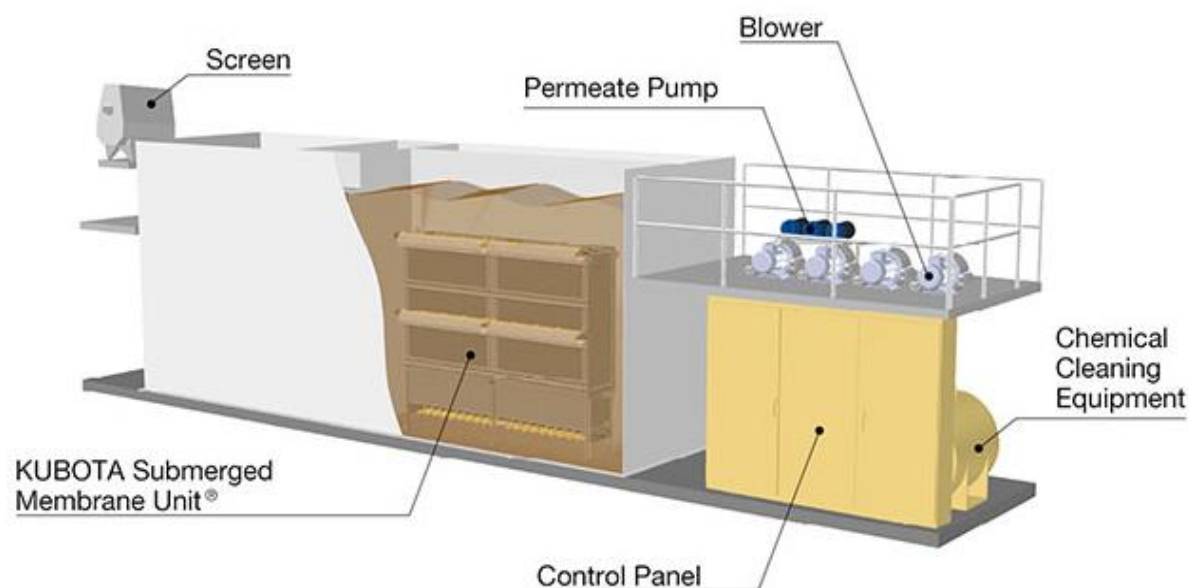
- Volumen real ocupado por 16 paneles (10% adicional):

$$115.44 \times 1.10 = 127 \text{ m}^3$$

- Manteniendo la longitud y el ancho:

$$\text{Altura: } 127 / (9.2 \times 2.925) = 4.71 \text{ m}$$

Unit Type		Total Membrane Surface Area		Nominal Dimensions						Weight (dry)	
				Height		Width		Length			
		(m²)	(ft²)	(mm)	(ft)	(mm)	(ft)	(mm)	(ft)	(kg)	(lbs)
LF	10	8	86	1,300	4.27	512	1.68	150	0.49	50	110
FF	25	20	215	1,526	5.01	600	1.97	442	1.45	140	309
	50	40	431					792	2.60	220	485
FS	50	40	431	1,526	5.01	600	1.97	792	2.60	225	496
	75	60	646					1,142	3.75	310	683
ES	75	60	646	2,026	6.65	600	1.97	1,142	3.75	330	728
	100	80	861					1,492	4.90	430	948
	125	100	1,076					1,842	6.04	530	1,168
	150	120	1,292					2,201	7.22	630	1,389
	200	160	1,722			620	2.03	2,921	9.58	860	1,896
EK	300	240	2,583	3,506	11.50	600	1.97	2,201	7.22	1,220	2,690
	400	320	3,444			620	2.03	2,921	9.58	1,670	3,682
RM	150	218	2,347	2,490	8.17	575	1.89	2,251	7.39	1,070	2,359
	200	290	3,122					2,925	9.60	1,365	3,009
RW	300	435	4,682	4,290	14.07	575	1.89	2,251	7.39	2,070	4,564
	400	580	6,243					2,925	9.60	2,635	5,809



	Kubota	Zenon
Membrane aeration capacity (Nm^3/h)	90-180	100(cycled)
Cycle (min)	8 on/2 relax ^a	bfish ^f
• Normal	8.3-12.5	20 ^e
• Peak	32.5-42	35 ^e
Biological	160	100
aeration capacity (Nm^3/h)		
F/M ratio	0.04-0.18	0.04-0.18
HRT (h)	10.2-15.4	7.6-12.3
SRT (day)	27-70	26-51
MLSS (g/L)	10.5-12	10.4-11.2
Chemical cleaning reagents	NaOCl, 0.5% Oxalic acid 1%	NaOCl, 1% Followed by 0.3% citric acid
Derived data		
$\text{SAD}_m(\text{Nm}^3/\text{hm}^3)$	0.75	0.54 ^g
$\text{SAD}_p(\text{Nm}^3 \text{ air}/\text{m}^3 \text{ permeate})$	60-90 normal 18-23 peak	27 15
Mean permeability, r^a	200-250 vv/o	200-250
LMH/bar	500-800 vv r^a 350 peak vv r^a	320-350 clean
Permeability decline $\Delta k \Delta t$, LMH/(barh)	1.5 ^b	20 ^b

5) Cámaras UV

- ✓ Flujo de diseño: 423.529 m/hr
- ✓ Catálogo de fabricante: Innovaqua
- ✓ <http://www.innovaqua.com/productos/uv.html>

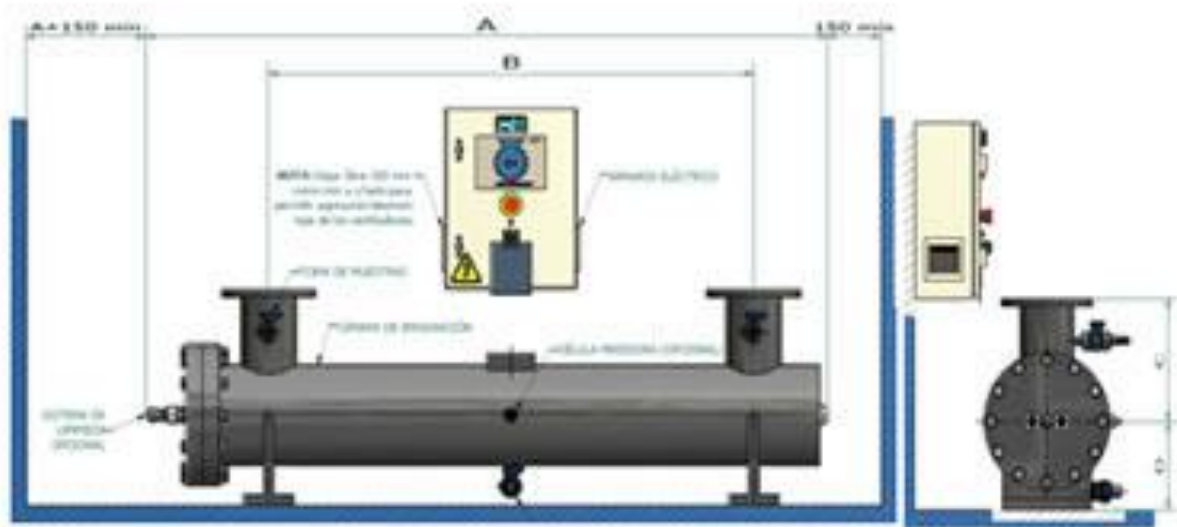
ULTRAVIOLETA SERIE PE CON SISTEMA DE LIMPIEZA

MODELO	CAUDAL m3/h	NÚMERO LÁMPARAS	MODELO LÁMPARA	CONSUMO W
1PE15 WS	16	1	L-1201(120W)	138
1PE25 WS	26	1	L-2071(207W)	238
1PE45 WS	46	1	L-3201(320W)	368
2PE60 WS	58	2	L-2071(207W)	476
3PE85 WS	85	3	L-2071(207W)	714
2PE120 WS	113	2	L-3201(320W)	736
3PE170 WS	161	3	L-3201(320W)	1104
4PE240 WS	225	4	L-3201(320W)	1472
5PE280 WS	259	5	L-3201(320W)	1840
6PE340 WS	311	6	L-3201(320W)	2208
8PE400 WS	401	8	L-3201(320W)	2944
12PE600	590	12	L-3201(320W)	3.680

Se selecciona el modelo 12PE600, con una capacidad nominal de 590 m3/hr, lo cual significa un sobrediseño de 39%, el cual le dará una mayor seguridad al nivel de desinfección.

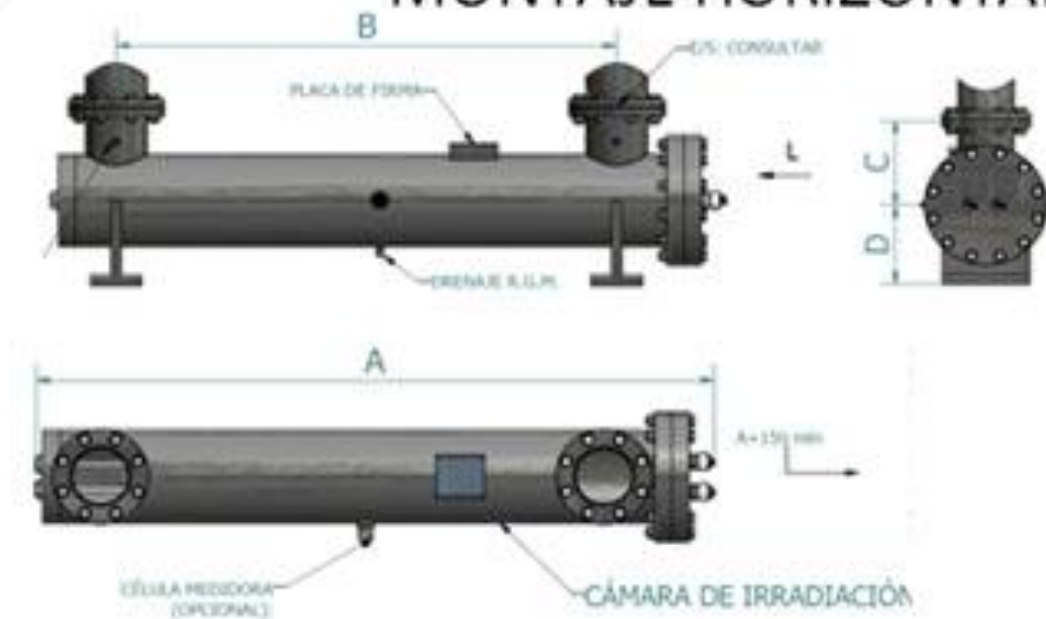
938

MONTAJE HORIZONTAL



936

MONTAJE HORIZONTAL



Donde:

A: longitud total, 2120 mm

B: distancia entre ejes, 1237 mm

C: distancia cara a eje, 490 mm

EVALUACIÓN ECONÓMICA

a) COSTO DE EQUIPOS PARA EL SISTEMA MBR

Incluye desde tanque igualador, el tamiz de 2 mm, hasta la salida del agua tratada.

Se considera también bombas y sopladores. Ver Anexo.

El costo de todos los equipos se basa en las cotizaciones de vendedores de sistemas MBR entre julio/agosto 2006 (DeCarolís et al., 2007).

- ✓ Para capacidad de 1.0 MGD: 3411 – 4352 dólares

Promedio: 3881.5 dólares

- ✓ Para capacidad de 5.0 MGD: 15183 – 17130 dólares

Promedio: 16156.5 dólares

- ✓ Buscando un factor para capacidad para los datos anteriores se obtiene una potencia promedio de 0.887.

- ✓ Capacidad de la planta a instalar: $430.9 \text{ m}^3/\text{hr} = 2\,732\,259 \text{ galones por día} = 2.732259 \text{ MGD}$

- ✓ Actualizando el costo por capacidad:

$$3881.5 \times 2.732259^{0.887} = 9466.61 \text{ dólares}$$

- ✓ Costo de equipos en el 2006 = 9 466 610 dólares

- CEPCI (Chemical Engineering Plant Cost Index) 2006: 499.8
- CEPCI (Chemical Engineering Plant Cost Index) 2018: 575.1

- ✓ Costo actualizado por tiempo:

$$9\,466\,610 \times (575.1/499.8) = 10\,892\,852 \text{ dólares}$$

b) COSTO DEL SISTEMA DE OSMOSIS INVERSA

Incluye el sistema de osmosis inversa, dosificadores de reactivos, bombas, tanques de almacenamiento.

- ✓ Capacidad total de producción: $360 \text{ m}^3/\text{hr} = 2\,282\,695 \text{ galones por día}$

- ✓ Capacidad de sistema de osmosis industrial: 10000 galones por día

- ✓ Número de sistemas de osmosis: $2\,282\,695/10000 = 228.26$

- ✓ Se va a considerar 230 sistemas de osmosis inversa

- ✓ Precio por sistema (2019): 13395 dólares

- ✓ Precio por todos los sistemas: $2309 \times 13395 = 3\,080\,850 \text{ dólares}$

✓ Adicionando un 10% para tanques de almacenamiento

✓ Costo total del sistema de osmosis inversa:

$$3\,080\,850 \times 1.10 = 3\,388\,935 \text{ dólares}$$

✓ Costo FOB total de equipos principales y auxiliares:

$$10\,892\,852 + 3\,388\,935 = 14\,281\,787 \text{ dólares}$$

COSTOS FIJOS

Costo CIF equipo principal y auxiliar = 14 281 787 dólares

❖ **Costo de entrega:**

$$14\,281\,787 \times 0.03 = 428\,454 \text{ dólares}$$

❖ **Costo de equipo en la planta:**

$$CEP = 14\,281\,787 + 428\,454 = 14\,710\,241 \text{ dólares}$$

❖ **Costo de instalación de todos los equipos:** Es del 8% en equipo en planta

$$CEInst. = 0.08 \times 14\,710\,241 = 1\,176\,819 \text{ dólares}$$

❖ **Costo de control por instrumentación:** Es del 3% en equipo en planta

$$CIns. = 0.03 \times 14\,710\,241 = 441\,307 \text{ dólares}$$

❖ **Costo de tubería y accesorios:** Es del 5% del equipo en planta

$$CTubAcc = 0.05 \times 14\,710\,241 = 735\,512 \text{ dólares}$$

❖ **Costo de instalaciones eléctricas:** Es del 3% del equipo en planta

$$CElec = 0.03 \times 14\,710\,241 = 441\,307 \text{ dólares}$$

- ❖ **Costo de Edificios:** Es del 3% del equipo en planta

$$CEdif = 0.03 \times 14710\ 241 = 441\ 307 \text{ dólares}$$

- ❖ **Costo de Terreno y Mejoras:** Es del 2% del equipo en planta

$$CTerMej = 0.02 \times 14\ 710\ 241 = 294\ 205 \text{ dólares}$$

- ❖ **Costo de Servicios:** Es del 6% del equipo en planta

$$CSer = 0.06 \times 14\ 710\ 241 = 882\ 614 \text{ dólares}$$

COSTOS DIRECTOS TOTALES

$$CDT = CEP + CEInst + CIns + CTubAcc + CElec + CEdif + CTerMej + CSer$$

$$CDT = 19\ 123\ 313 \text{ dólares}$$

- ❖ **Costos de Ingeniería y Supervisión:** Es del 6% del equipo en planta

$$CIngSup = 0.06 \times 14\ 710\ 241 = 882\ 614 \text{ dólares}$$

- ❖ **Costos de Construcción:** Es del 5% del equipo en planta

$$CConst = 0.05 \times 14\ 710\ 241 = 735\ 512 \text{ dólares}$$

- ❖ **Costos de Seguros e Impuestos de la Construcción:** Es del 2% del equipo en planta

$$CSeg = 0.02 \times 14\ 710\ 241 = 294\ 205 \text{ dólares}$$

- ❖ **Costos de Honorarios para Contratistas:** Es del 3% del equipo en planta

$$CHon = 0.03 \times 14\ 710\ 241 = 441\ 307 \text{ dólares}$$

❖ **Costos Imprevistos:** Es del 3% del equipo en planta

$$C_{Impr} = 0.03 \times 14\,710\,241 = 441\,307 \text{ dólares}$$

COSTOS INDIRECTOS TOTALES

$$CI = C_{IngSup} + C_{Const} + C_{Seg} + C_{Hon} + C_{Impr}$$

$$CI = 2\,794\,946 \text{ dólares}$$

CAPITAL FIJO TOTAL

Es la suma de costos directos, costos indirectos, capital de puesta en marcha e intereses de financiamiento.

$$CFT = CD + CI$$

$$CFT = 21\,918\,259 \text{ dólares}$$

CAPITAL DE TRABAJO

Del 10 a 20% de la Inversión del capital fijo.

NOMBRE	CANTIDAD	PRECIO
Metabisulfito de sodio	4.2353 kg/hr	0.25 dolar/kg
Hipoclorito de Sodio	2.1176 kg/hr	0.10 dólar/kg
Anti-incrustante	2.1176 kg/hr	0.45 dólar/kg

Operación Continua - 8000 horas al año:

- ❖ **Inventario de Materia Prima:** Se considera un mes de materia a los precios de puesto en planta.

$$InvMP = 476 \text{ dólares}$$

- ❖ **Inventario de Materia de Proceso:** Se considera un día del costo total de producción.

- Producto: 360 m³/hr
- Costo Producto: 1.5 dólares/m³

$$InvMPProc = \text{Producto} \cdot 24hr \cdot \text{CostoProducto} = 12\,960 \text{ dólares}$$

- ❖ **Inventario de Producto en almacén:** Se estima el costo de manufactura para una semana de producción.

$$InvPro = \frac{8000}{12.15} hr \cdot \text{Producto} \cdot \text{Costo Producto} = 24\,000 \text{ dólares}$$

- ❖ **Cuentas por cobrar:** Equivalente a un mes de ventas.

$$\text{Precio de venta} = 1.9 \text{ dólares/m}^3 \text{ (Precio estimado del producto)}$$

$$CueCob = 30\,400 \text{ dólares}$$

- ❖ **Disponible en caja:** Se considera en costo de un mes de producción. Sirve para pagar salarios, suministros e imprevistos.

$$DispCaja = \frac{8000}{12.15} hr \cdot \text{Producto} \cdot \text{Precio de Venta}$$

$$DispCaja = 24\,000 \text{ dólares}$$

CAPITAL DE TRABAJO

Es el sumatorio inventario de materia prima, inventario de materia en proceso, inventario de producto, cuentas por cobrar y disponible en caja.

$$CTra = InvMP + InvMPProc + InvPro + CueCob + DispCaja$$

$$CTra = 91\,836 \text{ dólares}$$

INVERSIÓN TOTAL DEL PROYECTO

Es la suma del capital fijo total y el capital de trabajo

$$INVT = CFT + CTra$$

$$INVT = 22\,010\,095 \text{ dólares}$$

COSTOS DE MANUFACTURA (COSTO TOTAL DEL PRODUCTO)

❖ **Costo de Materia Prima:** 10 – 50% del producto total

$$CostMatPri\ 1 = 8\,471 \text{ dólares}$$

$$CostMatPri\ 2 = 1\,694 \text{ dólares}$$

$$CostMatPri\ 3 = 7\,623 \text{ dólares}$$

$$CMP = 17\,788 \text{ dólares}$$

❖ **Costo de insumos:** El insumo más costoso es la energía eléctrica. Potencia total instalada: 505 kW, para proceso. Se considera un 10% adicional para otros usos.

$$1\ kW = 1000\ W$$

$$Pot = 505 \text{ kW} \times 1.20 = 606 \text{ kW}$$

$$PkW = 0.10 \text{ dólares/kW.hr}$$

$$Consumo = Pot.8000hr = 4\,848\,000 \text{ kW.hr}$$

$$Gasto = Consumo.PkW$$

$$Gasto = 484\,800$$

$$CINS = CMP + Gasto$$

$$CINS = 502\,588$$

- ❖ **Costo de mano de obra:** Depende del número de personas por turno lo cual está en relación con el grado de automatización de la planta. Se considera 10 – 20% del costo total de manufactura.

$$CMobra = 15 \times 3 \times 13 \times Mens$$

$$CMobra = 292\,500 \text{ dólares}$$

- ❖ **Costo de supervisión e ingeniería:** 20% del costo de la mano de obra.

$$CIng = 0.20 \times 273\,000$$

$$CIng = 54\,600 \text{ dólares}$$

- ❖ **Costo de mantenimiento:** 2 – 10% del capital fijo total. Se va a considerar 2%.

$$CMant = 0.02 \times CFT$$

$$CMant = 438\,365 \text{ dólares}$$

- ❖ **Costos de auxiliares y servicios:** El 10% del costo de mantenimiento.

$$CAux = 0.10 \times CMant$$

$$CAux = 43\,837 \text{ dólares}$$

- ❖ **Costos de suministros de operación:** 10% del costo de mantenimiento o 0.5 al 1% de la inversión del capital fijo.

$$CSum = 0.10 \times CMant$$

$$CSum = 43\,837 \text{ dólares}$$

COSTO DIRECTO DE MANUFACTURA (O DE FABRICACIÓN)

$$CDF = CMP + CMobra + CIng + CMant + CAux + CSum$$

$$CDF = 1\,379\,626 \text{ dólares}$$

- ❖ **Cargas a planillas:** 21% de la mano de obra

$$CPlan = 0.21 \times CMobra$$

$$CPlan = 61\,425 \text{ dólares}$$

- ❖ **Gastos de laboratorio:** 20% del costo de mano de obra.

$$CLab = 0.20 \times CMobra$$

$$CLab = 58\,500 \text{ dólares}$$

- ❖ **Gastos generales de la planta:** 20% del costo de mano de obra.

$$Gen = 0.20 \times CMobra$$

$$Gen = 58\,500 \text{ dólares}$$

COSTO INDIRECTO DE MANUFACTURA (O DE FABRICACIÓN)

$$CIF = CPlan + CLab + Gen$$

$$CIF = 178\,425 \text{ dólares}$$

- ❖ **Depreciación:** 10% del capital fijo total.

$$Dep = 0.10 \times CFT$$

$$Dep = 2\,191\,826 \text{ dólares}$$

- ❖ **Impuestos:** 2% del capital fijo.

$$Imp = 0.02 \times CFT$$

$$Imp = 438\,365 \text{ dólares}$$

- ❖ **Seguros:** 1% del capital fijo total.

$$Seg = 0.01 \times CFT$$

$$Seg = 219\,183 \text{ dólares}$$

COSTOS FIJOS DE FABRICACIÓN

Es la suma de los costos directos de fabricación, costo indirecto de fabricación y el costo fijo de fabricación.

$$CFab = CDF + CIF + CFF$$

$$CFab = 4\,407\,425 \text{ dólares}$$

GASTOS GENERALES (VAD)

Gastos de ventas, administración e investigación.

- ❖ **Ventas:** Gastos en oficina de ventas, personal de ventas, propaganda, distribución se considera 5% del costo fijo de fabricación.

$$Vent = 0.05 \times CFT$$

$$Vent = 142\,469 \text{ dólares}$$

- ❖ **Administración:** Salario de ejecutivos, planilla de oficinistas, suministros de oficinas, comunicaciones. Corresponde al 10% de costo de mano de obra, supervisión y mantenimiento.

$$Adm = 0.10. (CMobra + CIng + CMant)$$

$$Adm = 78\,937 \text{ dólares}$$

- ❖ **Investigación y Desarrollo:** Se considera 5% del costo de Mano de obra.

$$Inv = 0.05 \times CMobra$$

$$Inv = 14\,625 \text{ dólares}$$

$$VAI = Vent + Adm + Inv$$

$$VAI = 236\,030 \text{ dólares}$$

COSTO TOTAL DE FABRICACIÓN

Es la suma de los costos de Fabricación y Gastos Generales (VAI).

$$CTF = CFab + VAI$$

$$CTF = 4\,643\,455 \text{ dólares}$$

TOTAL DE UNIDADES PRODUCIDAS AL AÑO

$$Producto = 360 \frac{m^3}{hr}$$

$$NumProd = Producto \times 8000 \text{ hr}$$

$$NumProd = 2\,880\,000 \text{ m}^3$$

COSTO UNITARIO

$$CostUnit = \frac{CTF}{NumProd}$$

$$CostUnit = 1.6123 \text{ dólares/m}^3$$

ESTADO DE PÉRDIDAS Y GANANCIAS

❖ Precio de ventas por unidad

$$P_{venta} = 3.8 \text{ dólares}/m^3$$

❖ Ingreso neto de ventas anuales

$$Ing_{venta} = P_{anual} \times P_{venta}$$

❖ Costo total de fabricación (producción)

$$CTFP = CTF$$

$$CTFP = 4\,643\,455 \text{ dólares}$$

❖ Utilidad Bruta

$$Ut_{bruta} = Ing_{venta} - CTF$$

$$Ut_{bruta} = 6\,300\,545 \text{ dólares}$$

❖ Impuesto a la Renta

$$Imp_{renta} = \frac{Ut_{bruta}}{1.3} \times 0.30$$

$$Imp_{renta} = 1\,453\,972 \text{ dólares}$$

❖ **Utilidad Neta**

$$UtNeta = UtBruta - ImpRenta$$

$$UtNeta = 4\,846\,573 \text{ dólares}$$

ANÁLISIS ECONÓMICO

❖ **Tasa Interna de Retorno**, antes del pago de impuestos.

P: Inversión inicial: 22 010 095 dólares

A: Ingreso neto de ventas: 6 300 545 dólares

VS: Depreciación: 2 191 826 dólares

n: Periodo en el que espera recuperar el dinero, 5 años

i: Tasa interna de retorno

Aplicando la fórmula:

$$P = A \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i \cdot (1+i)^n} \right] + \frac{VS}{(1+i)^n}$$

Se despeja el valor de i:

$$i = 15.37\%$$

❖ **Tasa Interna de Retorno, después del pago de impuestos**

U = Utilidad neta, después de impuestos

$$P = U \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i \cdot (1+i)^n} \right] + \frac{VS}{(1+i)^n}$$

Se despeja el valor de i:

$$i = 6.07\%$$

❖ **Tiempo de Recuperación del dinero antes de impuestos**

$$TRI = \frac{I}{UtBruta + D}$$

$$TRI = 2.5917 \text{ años}$$

❖ **Tiempo de recuperación del dinero después de impuestos**

$$TRI = \frac{I}{UtNeta + D}$$

$$TRI = 3.1271 \text{ años}$$

❖ **Punto de Equilibrio**

$$CFF = 1\,379\,626 \text{ dólares}$$

Para no pierda ni ganar el número de unidades que se debe producir será:

$$Q = \frac{CFF}{\frac{IngVenta}{Panual} - \frac{Cvar}{Panual}}$$

$$Q = 259\,627\,187$$

$$Pequilibrio = \frac{Q}{Panual} \times 100\%$$

$$Pequilibrio = 34.12\%$$

HOJAS DE ESPECIFICACIONES

ESPECIFICACIONES DE DISEÑO REJILLA DE ENTRADA - RE			
IDENTIFICACIÓN			
PLANTA	Transformación de Agua Residual Doméstica en Agua Potable		
DISEÑISTA	Agua tecnica	FECHA:	Octubre: 2019
NOMBRE Y DETALLE	Tamiz de Escalera para sólidos finos - OZ		
FUNCIÓN	Separar partículas finas de hasta 2 mm del agua		
OPERACIÓN	Continua		
Nº DE UNIDADES	01	RESERVA:	0
DATOS DE DISEÑO			
TIPO DE REACCIÓN	Separación		
FLUJO MASICO	428.75 m³/hr		
TAMIZ	TIPO	OZ-500	Tipo A
TAMAÑO DE PARTICULAS	2 mm		
SOLIDOS SEDIMENTALES	4.45 mL/L		
SOBREDISEÑO	14.46%		
DATOS DE CONSTRUCCIÓN			
ALTURA DE LA LAMINA DE AGUA	500 mm		
ANCHURA DEL CANAL	1100 mm		
CAPACIDAD NOMINAL	493.2 m³/hr		
MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	Acero Inoxidable		

ESPECIFICACIONES DE DISEÑO TANQUES ANOXICOS			
IDENTIFICACIÓN			
PLANTA	Transformación de Agua Residual Doméstica en Agua Potable		
NOMBRE Y DETALLE	Tanque Anóxico del Sistema MBR		
FUNCIÓN	Realizar la degradación anaeróbica		
OPERACIÓN	CONTINUA		
Nº DE TANQUES	10	RESERVA:	0
DATOS DE DISEÑO			
TIPO DE REACCIÓN	Biodegradación		
FLUJO MASICO	428.75 m³/hr		
TIPO DE TANQUE	Cilíndrico		
VOLUMEN DE TRABAJO	128.45 m³		
ALTURA DEL LIQUIDO	5257 mm		
RELLENO TOTAL	150018.4 litros		
LLENO A 5257	128465.02 litros		
ESPACIO PARA AGITADOR	20%		
VOLUMEN TOTAL	1541.525 m³		
DATOS DE CONSTRUCCIÓN			
DIÁMETRO DEL TANQUE	5578 mm		
ALTURA DEL TANQUE	6139 mm		
VOLUMEN DEL TANQUE	154.14 m³ – 150 m³		

ESPECIFICACIONES DE DISEÑO TANQUES AEROBICOS			
IDENTIFICACIÓN			
PLANTA	Transformación de Agua Residual Doméstica en Agua Potable		
NOMBRE Y DETALLE	Tanque Aeróbicos del Sistema MBR		
FUNCIÓN	Realizar la degradación aeróbica		
OPERACIÓN	CONTINUA		
Nº DE TANQUES	12	RESERVA:	0
DATOS DE DISEÑO			
TIPO DE REACCIÓN	Oxidación		
FLUJO MASICO	428.75 m³/hr		
VOLUMEN DE TRABAJO	172.73 m³		
TIPO DE TANQUE	Cilíndrico		
ALTURA DEL LIQUIDO	5000 mm		
RELLENO TOTAL	189993.8 litros		
LLENO A 5000	172878.8 litros		
ESPACIO PARA EL SISTEMA DE AIREACIÓN	30%		
VOLUMEN TOTAL	2245.5 m³		
CANTIDAD DE OXIGENO	91.511 kg/hr		
FLUJO DE AIRE	1651.731 m³/hr		
DATOS DE CONSTRUCCIÓN			
DIÁMETRO DEL TANQUE	6635 mm		
ALTURA DEL TANQUE	5495 mm		
VOLUMEN DEL TANQUE	187.12 m³ – 190 m³		

**ESPECIFICACIONES DE DISEÑO
REACTORES BIOLOGICOS**

IDENTIFICACIÓN				
PLANTA	Transformación de Agua Residual Doméstica en Agua Potable			
NOMBRE Y DETALLE	Biorreactores con membranas sumergidas			
FUNCIÓN	Realizar la degradación biológica y filtrar el agua			
OPERACIÓN	CONTINUA			
N° DE TANQUES	4	RESERVA:	<u>0</u>	
DATOS DE DISEÑO				
TIPO DE REACCIÓN	<u>Filtración</u>			
FLUJO MASICO	423.529 m³/hr			
TIPO DE TANQUE	Rectangular			
<u>TIEMPO RETENCIÓN DE SOLIDOS</u>	<u>15.485</u>			
<u>PRODUCCIÓN DE BIOMASA</u>	<u>892.398 kg/day</u>			
<u>VOLUMEN TOTAL DE TRABAJO</u>	<u>1727.316 m³</u>			
<u>ESPACIO ADICIONAL</u>	<u>10%</u>			
<u>VOLUMEN TOTAL</u>	<u>340 m³</u>			
<u>TIPO DE PANEL</u>	<u>KUBOTA RW 400</u>	<u>PANALES POR TANQUE</u>	<u>16</u>	
DATOS DE CONSTRUCCIÓN				
<u>ALTURA DEL TANQUE</u>	<u>4.71 m</u>			
<u>ANCHO</u>	<u>2.825 m</u>			
<u>ALTURA</u>	<u>9.2 m</u>			
<u>VOLUMEN DEL TANQUE</u>	<u>127 m³</u>			
<u>PANEL</u>	<u>Volumen Real</u>	<u>Altura</u>	<u>Ancho</u>	<u>Largo</u>
	<u>127 m³</u>	<u>2925 mm</u>	<u>575 mm</u>	<u>4290 mm</u>
<u>SUPERFICIE TOTAL DE LA MEMBRANA</u>		<u>580 m²</u>		

**ESPECIFICACIONES DE DISEÑO
CAMARA ULTRAVIOLETA**

IDENTIFICACIÓN			
PLANTA	Transformación de Agua Residual Doméstica en Agua Potable		
DISEÑISTA	Innovaqua	FECHA:	Octubre: 2019
NOMBRE Y DETALLE	Cámara UV		
FUNCIÓN	Desinfectar		
OPERACIÓN	Continua		
Nº DE UNIDADES	01	RESERVA:	0
DATOS DE DISEÑO			
TIPO DE REACCIÓN	Desinfección		
FLUJO MASICO	423.529 m³/hr		
CAMARA	MODELO	12PE600	
CAUDAL NOMINAL	529 m³/hr		
CONSUMO DE ENERGIA	3680 W		
LAMPARAS	Número	Modelo	Consumo de Energía
	12	L-3201	320
DATOS DE CONSTRUCCIÓN			
LONGITUD TOTAL	2120 mm		
DISTANCIA ENTRE EJES	1237 mm		
DISTANCIA CARA A EJE	490 mm		
MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	Acero Inoxidable		

ANEXOS

Cuadro N° 30: Características de las Estaciones de bombeo de aguas residuales –EBAR.

Nombre	Antigüedad (años)	Estado Físico	Potencia en HP	Caudal de Bombeo (l/s).
			Motor	Actual
EBAR N°01 - Nueva				
Equipo 01	1	Bueno	15	
Equipo 02			15	
Equipo 03			15	
Equipo 04			15	
EBAR N°02 - 07 de Agosto *				
Equipo 01		Bueno	9,18	19
Equipo 02			9,18	19
Equipo 03			9,18	19
EBAR N°03 - Fermín Avila Morón				
Equipo 01	16	Bueno	9,00	19
Equipo 02 (DESMONTADO)			9,00	19
EBAR N°04 - Las Garzas N°01				
Equipo 01	9	Bueno	2,20	15
Equipo 02 (INOPERATIVO)			2,20	15
EBAR N°05 - Las Garzas N°02				
Equipo 01	9	Bueno	2,20	15
Equipo 02			2,20	15
TOTAL			114,34	155,00

Fuente: Anexo 8 – EPSEL S.A.

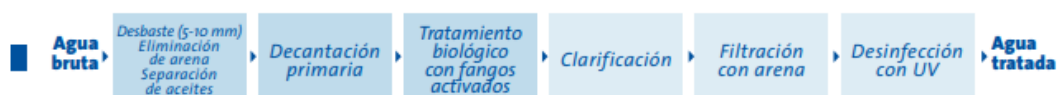
(*) Desde el mes de mayo del año en curso.

Elaboración: Gerencia de Regulación Tarifaria (GRT) – SUNASS



Una línea de tratamiento optimizado

LÍNEA DE TRATAMIENTO CONVENCIONAL



LÍNEA DE TRATAMIENTO CON BIOSEP®



Rendimientos esperados del BIOSEP® para aguas residuales	
DQO	< 30 mg/l
DBO ₅	< 5 mg/l
SS	< 5 mg/l
Nitrógeno	< 10-15 mg/l
Fósforo	< 0,5-2 mg/l
Coliformes totales	5 log o < 500 u/100 ml
Coliformes termodúricos	5 log o < 100 u/100 ml
Estreptococos fecales (grupo D)	5 log o < 100 u/100 ml
Contenido bacteriofago	3 log

	Eficiencia en el tratamiento biológico
	Eficiencia en la desinfección

$$M_m = Q_{A,m} \rho_A (SOTE_{coarse} y_{coarse}) O_{A,m} \alpha \beta \Phi$$

Parameter	Unit	Biology	Membrane
Diffuser type		fine bubble	coarse bubble
SOTEx	%/m	0.05	0.02
Air density, ρ_A	kg/m ³	1.2	1.2
correction factor exponent, ω_x		0.084	0.084
mass % oxygen in air, $O_{A,m}$	%	23.2	23.2
mass transfer correction, solid, α	-	0.51	0.43
mass transfer correction, salinity, β	-	0.95	0.95
F fouling factor		0.9	0.9
mass transfer correction, temperature, Φ	-	0.83	0.83
Aerator depth, y_x	m	5	2.3
Point of Air released	m	0.5	0.5
Air flow rate, membrane tank, $Q_{A,m}$	Nm ³ /h	73037.41	
O ₂ transferred by membrane aeration, M_m	kg/d	7585.36	
O ₂ to be provided by biology aeration, M_o	kg/d	12719.36	-
Air flow rate, biotank, $Q_{A,b}$	Nm ³ /h	-	
Suspended solids correction factor, α		0.51	0.43

https://books.google.com.pe/books?id=SYI2FAAM04kC&pg=PA247&lpg=PA247&dq=Xaer,+Xanox,+Qw,Wastewater+Treatment+Design&source=bl&ots=HrUgKjhbP&sig=ACfU3U3DC_Jx7fslpmY_yss7KWt5B81wrw&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwifwcnH0NnhAhVirIkKHen2DaMQ6AEwAHoECAGQAQ#v=onepage&q=Xaer%2C%20Xanox%2C%20Qw%2CWastewater%20Treatment%20Design&f=false

CONSUMOS DE ENERGIA ESPECIFICOS

Parámetros generales de diseño de una planta de Ósmosis Inversa:

	TWRO	BWRO	SWRO
	Agua de Red	Agua de Pozo	Agua de mar
Salinidad	< 1 500 ppm	< 8 000 ppm	35 000 – 45 000 ppm
Recuperación	80%	65 – 80 %	35 – 45 %
Presión de Trabajo	< 15 bar	15 – 25 bar	50 – 75 bar
Tipos de Membranas	Red / Pozo 4” o 8”		Mar 4” o 8”
Flujo	30 – 35 l/h.m ²	25 – 30 l/h.m ²	15 – 20 l/h.m ²
Consumo Energético 25°C	< 0.75 kWh/m ²	1.5 kWh/m ²	5 kWh/m ² o 2 – 3 kWh/m ² con ahorro energético
Configuración	Montado en soporte o en un contenedor (10 a 40 ft)		

Readmore: <https://www.lenntech.es/sistemas/osmosis-inversa/osmosis-inversa.htm#ixzz5oCEY9wmc>